



ЗЕМЛЯ и ВСЕЛЕННАЯ

5

1968

АСТРОНОМИЯ

ГЕОФИЗИКА

ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА



Академик Виктор Амазаспович Амбарцумян
(к 60-летию со дня рождения)

ЗЕМЛЯ и ВСЕЛЕННАЯ

Научно-популярный журнал
Академии наук СССР

Основан в 1965 году

Выходит 6 раз в год



СЕНТЯБРЬ — ОКТЯБРЬ

5 1968

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
Москва

В НОМЕРЕ

Л. И. Дорман — Космические лучи и солнечный ветер . .	2
С. С. Зилитинкевич — Общая циркуляция атмосферы и океана [математические модели]	8
Д. А. Дреннов — Выпрямление самаркандских минаретов	19
Г. М. Никольский — Наблюдения солнечной хромосферы на большом внеатомном коронографе	25
Э. Ф. Бражникова — Загадка спектрально-двойных звезд	27
Д. К. Надёжин — Почему взрываются сверхновые звезды!	31
О. Н. Ржиги — Марс. Чем сложена его поверхность! . . .	37
В. Ф. Канаев — «Академик Курчатов» в Индийском океане	44
Е. Ф. Малеев — Авачинский вулкан	52

ЛЮДИ НАУКИ

В. Г. Горбачкий — Виктор Амазаспович Амбарцумян . . .	56
---	----

СИМПОЗИУМЫ, КОНФЕРЕНЦИИ, СЪЕЗДЫ

Л. П. Пеллинен — XIV Генеральная ассамблея Международной геодезической ассоциации	61
---	----

ЭКСПЕДИЦИИ

Е. Л. Кринов — На Сихотэ-Алинь — за метеоритами	68
---	----

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ

Н. Н. Михельсон — Любителям астрономии — о телескопах. II	78
А. Д. Марленский, В. Ф. Заболотный — Астрономические наблюдения в ноябре — декабре 1968 года	85

КОСМИЧЕСКАЯ ФИЛАТЕЛИЯ

В. В. Полонский — Ученые-астрономы на марках мира	88
---	----

КНИГИ О ЗЕМЛЕ И НЕБЕ

Е. К. Страут — «Карта Луны»	91
П. Г. Куликовский — «Астрономия в картинках»	92

АСТРОНОМЫ УЛЫБАЮТСЯ

М. Кирш — Последний раз о Маленьком астрономе	94
---	----

НОВОСТИ НАУКИ И ДРУГАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Эксперименты под Монбланом [7]; Просто цифры [7]; Радиоизлучение галактик в скоплении Персея [43]; Новое об океаническом дне [49]; Новое в программе телевизионных передач [50]; Новое о пульсарах [50]; Организация Секции наук о Земле [51]; Икар сфотографирован! [54]; Рентгеновские вспышки на Солнце [55]; Биологические эффекты сверхновых [55]; Тектонофизика в Техасе [55]; Гляциологические исследования в Антарктиде [77]; Обсуждение методических вопросов преподавания астрономии [87]; Мир без ледников и льдов [90]; Можно ли уже сегодня побывать на Луне! [93].

На обложке: 1-я стр. — Кратер Авачинского вулкана (северная часть). Справа шлаки извержения 1945 г. Вдали виден Корякский вулкан (к статье Е. Ф. Малеева).

КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ И СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР

Л. И. ДОРМАН
профессор

Солнечный ветер вызывает такие замечательные явления, как магнитный хвост Земли, внешние радиационные зоны, магнитные бури и полярные сияния. Каковы свойства ветра в областях, пока не доступных для космических ракет! Разведчики космоса — быстрые и вездесущие космические частицы — многое могут «рассказать» об этом.

«ДОГАДКИ» УЧЕНЫХ О СУЩЕСТВОВАНИИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

В 1896 г. норвежский физик О. К. Биркеланд, столетие со дня рождения которого недавно отмечалось научной общественностью мира, высказал предположение, что Солнце кроме света испускает также корпускулярное излучение, скорость которого почти на три порядка меньше скорости света. Попадая на Землю, оно вызывает полярные сияния и магнитные бури. В последние годы, по предложению американского астрофизика Э. Паркера, это излучение получило название «солнечного ветра». Солнечный ветер непрерывно дует в солнечной системе. Возникая на Солнце, он проносится мимо Земли со средней скоростью 300—500 км/сек.

В течение многих десятилетий ученые различных специальностей исследовали это замечательное явление, наблюдая кометные хвосты, модуляционные эффекты галактических космических лучей, изучая характер распространения солнечных космических лучей, а также геомагнитную активность и полярные сияния. Несмотря на то, что применявшиеся до недавнего времени методы

носили косвенный характер, результаты о свойствах солнечного ветра были настолько согласованными, что ученые не сомневались в реальности существования солнечного ветра. Довольно надежно знали скорость ветра (определялось запаздывание геомагнитных возмущений и полярных сияний относительно явлений солнечной активности), а также напряженность несомых ветром магнитных полей (по модуляционным эффектам галактических космических лучей). Было доказано, что солнечный ветер расходится от Солнца радиально. Менее надежно определялась плотность солнечного ветра; она оценивалась от нескольких частиц в 1 см^3 до нескольких тысяч частиц. Космические лучи еще в 1959 г. помогли обнаружить в солнечном ветре различные магнитные неоднородности.

ПРЯМЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ В КОСМОСЕ ПОДТВЕРЖДАЮТ СУЩЕСТВОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

В течение последних пяти лет проводились прямые измерения солнечного ветра на советских и американских космических ра-

кетах, запускавшихся к Луне, планетам Венеры и Марс, а также на искусственных спутниках Земли с вытянутой орбитой, выходящей за пределы земной магнитосферы. Эти измерения подтвердили полученные ранее косвенными методами данные о скорости ветра и магнитных полях, было уточнено значение плотности ветра (в спокойном ветре плотность у орбиты Земли около пяти частиц в 1 см^3 , причем она убывает обратно пропорционально квадрату расстояния до Солнца, что соответствует представлениям о радиальном распространении ветра) *. Напряженность магнитного поля в спокойном ветре у орбиты Земли оказалась почти 5 гамм (т. е. $5 \cdot 10^{-5} \text{ гс}$), а силовые линии регулярной составляющей поля имеют вид спиралей Архимеда, как это было установлено раньше по данным о распространении солнечных космических лучей. Кроме регулярного поля был обнаружен также широкий спектр магнитных неоднородностей именно такой, какой следует из данных о зависимости транспортного пробега (т. е. среднего расстояния, на котором частица полностью меняет направление движения) для рассеяния космических частиц от их энергии.

МОЖНО ЛИ ПОЛУЧИТЬ ИНФОРМАЦИЮ О СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА РАКЕТАХ?

Перечисленные выше свойства солнечного ветра относятся лишь к сравнительно небольшой области межпланетного пространства между орбитами Венеры и Марса. Каковы же свойства солнечного ветра в более близких к Солнцу областях и на больших расстояниях — в районе наиболее удаленных планет? Как далеко простирается солнечный ветер? Что ограничивает его распространение в межзвездном пространстве?

На все эти вопросы прямые измерения в космосе не могут дать ответа, поскольку измерения солнечного ветра на расстояниях в десятки и сотни астрономических единиц пока не выполнимы. Многие косвенные методы исследований также не могут дать ответа на

поставленные вопросы. Так, исследования геомагнитной активности и полярных сияний позволяют получить некоторую информацию о свойствах солнечного ветра (например, о его скорости) лишь на орбите Земли. Наблюдения хвостов комет не поддаются однозначной интерпретации, и кроме того, они относятся к расстояниям не более 3—5 а. е. В настоящее время есть только один метод, который мог бы ответить на поставленные вопросы, — это исследования космических лучей. Космические лучи являются своеобразным зондом, прощупывающим условия в пространстве, через которое они проходят. Космическим лучам доступны не только наша солнечная система, но и такие удаленные участки космоса, как гало и центральные области Галактики, межзвездное и даже межгалактическое пространство.

Какую же информацию дает «прощупывание» космическими лучами межпланетного пространства и солнечного ветра?

Плотность солнечного ветра настолько мала, что прохождение в нем сотен и тысяч астрономических единиц равносильно пересечению толщи вещества менее 10^{-5} г/см^2 , тогда как для ядерного взаимодействия быстрых протонов надо пройти, по крайней мере, несколько десятков граммов на квадратный сантиметр, а тяжелых ядер — хотя бы 1 г/см^2 . Таким образом, космические лучи совершенно нечувствительны к солнечному ветру как к потоку вещества. Но как же тогда получать информацию о солнечном ветре с помощью космических лучей? Оказывается это возможно благодаря тому, что вместе с солнечным ветром несутся с огромной скоростью слабые, но весьма протяженные магнитные поля (кстати, впервые существование этих полей было установлено почти 20 лет назад именно с помощью космических лучей).

ЗОНДИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА СОЛНЕЧНЫМИ КОСМИЧЕСКИМИ ЛУЧАМИ В «БЛИЖНЕМ» КОСМОСЕ

Ценные сведения о ближайшей к Солнцу области межпланетного пространства приносят солнечные космические лучи. Во время мощных хромосферных вспышек на Земле наблюдается заметное возрастание интенсивности космических лучей. Наибольшая интенсивность за последние 30 лет (в течение

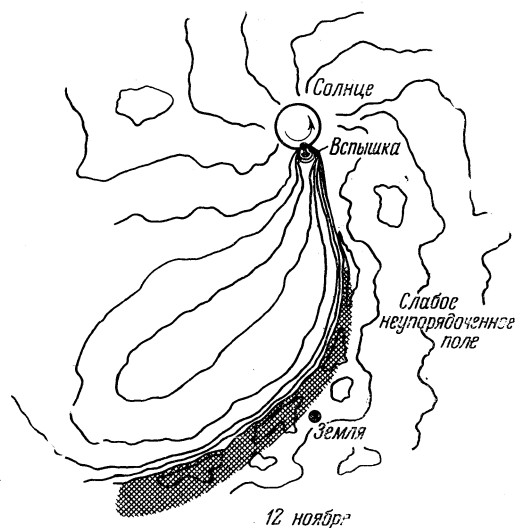
* В частности, первые надежные результаты были получены на советских ракетах К. И. Грингаузом с сотрудниками.

этого времени во многих лабораториях мира ведется непрерывная регистрация космических лучей) наблюдалась 23 февраля 1956 г. В этот день даже на поверхности Земли возросла интенсивность вторичных компонентов: мезонной в 2 раза, а нейтронной в 5 раз. За границей земной атмосферы поток частиц в области малых энергий возрос в тысячи раз. В эти 30 лет наблюдалось много десятков аналогичных, но меньших по масштабу случаев. Обнаружено, что возрастание потока солнечных космических лучей происходит очень быстро, а спад довольно медленно. Характер изменения во времени определяется количеством магнитных неоднородностей на пути движения солнечных космических лучей.

Интенсивность рассеяния частиц магнитными полями характеризуется так называемым транспортным пробегом для рассеяния. Магнитные неоднородности встречаются от очень больших — размерами в десятки миллионов километров — до самых малых, измеряемых всего тысячами и сотнями километров. Чем больше энергия частицы, тем к большим неоднородностям чувствительна траектория ее движения. Поэтому, изучая поведение частиц разной энергии, мы получаем информацию о неоднородностях разного масштаба. Оказалось, что транспортный пробег для рассеяния солнечных космических лучей не растет с удалением от Солнца (как следовало бы ожидать, если неоднородности рождаются вместе с ветром плазмы и затем радиально расходятся от Солнца), а наоборот, уменьшается. Значит неоднородности в основном появляются в процессе удаления солнечной плазмы от Солнца как результат постоянного развития различных видов плазменной неустойчивости (подобно неустойчивостям, возникающим в экспериментах по управляемому термоядерному синтезу).

СИЛОВЫЕ ЛИНИИ В ФОРМЕ СПИРАЛЕЙ АРХИМЕДА — «МАГНИТНЫЕ РЕЛЬСЫ»

Если бы межпланетное магнитное поле состояло только из хаотически расположенных магнитных неоднородностей различного масштаба, то возрастание потока солнечных космических лучей на Земле не зависело бы от того, где произошла хромосферная вспышка — на западном или восточном краю солнечного диска, в северном или южном полу-



«ПОГОДА» В КОСМОСЕ. Ноябрь 1960 г.

шарии Солнца. Тщательное исследование показало, что легче и быстрее всего достигают Земли солнечные космические лучи от тех хромосферных вспышек, которые проис-



СМЕЩЕНИЕ ударных зон попадания на Землю солнечных космических лучей на 50° к западу от линии Земля — Солнце вызвано закручиванием силовых линий межпла-

нетного магнитного поля в спираль Архимеда. (Причина — вращение Солнца при одновременном радиальном распространении солнечного ветра). Хромосферные вспышки на западном краю диска более эффективны, чем на восточном: в первом случае солнечные космические лучи распространяются вдоль силовых линий межпланетного магнитного поля; во втором — они с трудом достигают Земли, распространяясь поперек поля. Важно также, что благодаря уменьшению напряженности поля с удалением от Солнца, угол между направлением скорости движения и силовой линией магнитного поля (pitch-угол) постепенно уменьшается пропорционально уменьшению напряженности поля

ходят на западном краю солнечного диска. Но это означает, что кроме неоднородного магнитного поля существует и значительное регулярное, силовые линии которого служат как бы «рельсами», направляющими движение солнечных космических лучей. Причем силовые линии, приходящие в окрестности Земли, начинаются не из центра солнечного диска, а от его западного края. Таким образом, хотя движение солнечного ветра радиальное, регулярное магнитное поле не радиально.

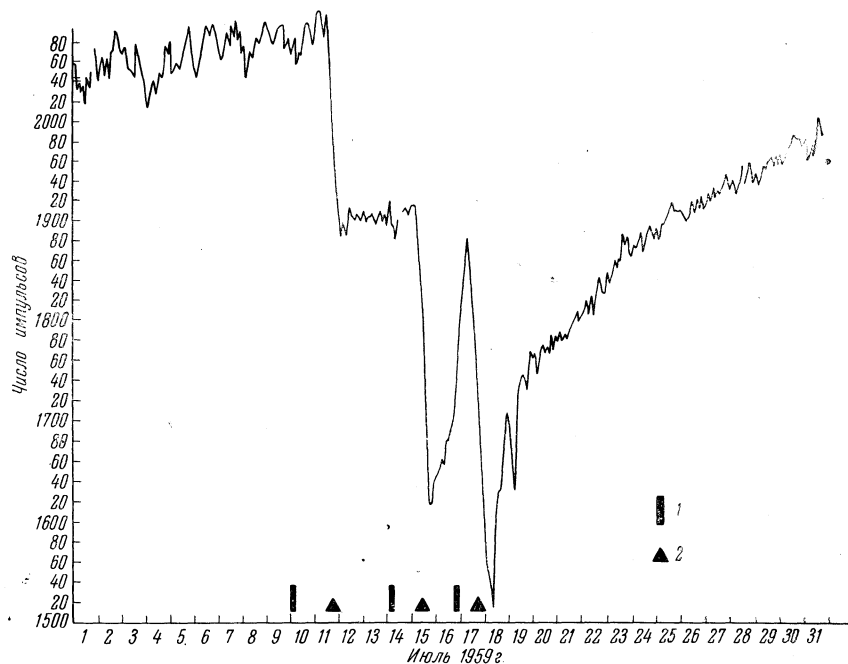
Исследования солнечных космических лучей показали, что наклон силовой линии к линии Земля — Солнце в районе орбиты Земли составляет около 50° . Именно такой угол должна иметь силовая линия, изогнутая в спираль Архимеда из-за вращения Солнца вокруг своей оси. Подобно тому как изгибается струя воды из вращаемого пожарного брандспойта (при этом сама вода на больших расстояниях движется почти радиально), солнечный ветер удаляется радиально от Солнца, хотя силовые линии магнитного поля изогнуты по спирали Архимеда. В спокойном ветре, движущемся со средней скоростью около 300 км/сек , силовая линия поля делает полный оборот через каждые 6 а. е. Таким

образом, если вблизи Солнца регулярное магнитное поле почти радиально, у орбиты Земли оно наклонено на 50° к радиусу, а уже на расстоянии в несколько астрономических единиц этот угол приближается к 90° , и поле становится близким к азимутальному. Впоследствии изогнутость силовых линий поля в межпланетном пространстве по спирали была подтверждена прямыми измерениями на космических ракетах. Однако эти измерения, как уже говорилось, относятся к области между Венерой и Марсом, тогда как солнечные космические лучи дают информацию во всей области от Солнца до расстояний в 5—10 а. е.

ЗОНДИРОВАНИЕ «ДАЛЬНИХ» ОБЛАСТЕЙ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА КОСМИЧЕСКИМИ ЛУЧАМИ ГАЛАКТИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Для того чтобы получить сведения о еще более удаленных участках межпланетного пространства, ученые тщательно исследуют различные модуляционные эффекты галактических космических лучей. Одни из этих эффектов свидетельствуют об условиях в

ПРИМЕР ЭФФЕКТОВ Форбуша в июле 1959 г., когда три хромосферные вспышки (1) вызвали три магнитные бури (2). Каждая буря начиналась внезапно, вызванная мощной ударной волной, «бежавшей» по солнечному ветру со скоростью около 1500 км/сек . Эти волны выметали перед собой космические лучи, что и привело к наблюдавшимся резким понижениям их интенсивности



«ближнем» космосе, на расстояниях порядка сотен миллионов километров, — это, прежде всего, эффекты солнечной анизотропии галактических космических лучей и эффекты Форбуша (так называются резкие понижения интенсивности космических лучей во время магнитных бурь). О «дальнем» космосе, характеризующем расстояниями от Солнца в десятки астрономических единиц, информи-

руют такие долгопериодные вариации, как 11-летние, связанные с 11-летним циклом солнечной активности. Эти вариации обусловлены тем, что поток магнитных неоднородностей стремится «выместить» из межпланетного пространства галактические космические лучи.

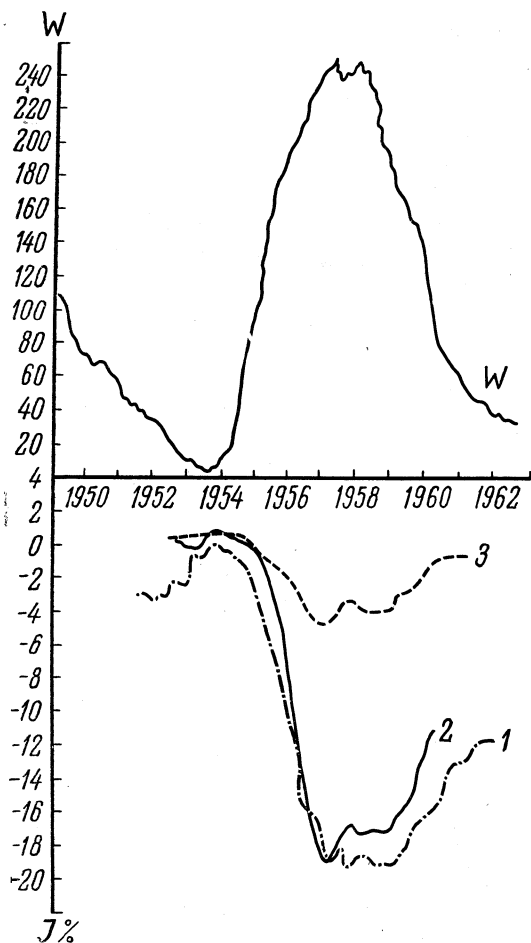
Радиальное расхождение неоднородностей приводит также к некоторому уменьшению энергии частиц, которым «удается» проникнуть из Галактики внутрь солнечной системы. Все это вызывает уменьшение интенсивности космических лучей с усилением солнечного ветра в период возрастания солнечной активности. Здесь можно использовать то обстоятельство, что изменения солнечного ветра при изменениях солнечной активности проявляются в космических лучах с некоторым запаздыванием во времени. Чем больше область, охваченная ветром, и меньше его скорость, тем больше запаздывание.

Изучая связь между изменениями солнечной активности и вариациями интенсивности космических лучей, можно получить определенные сведения о том, до какого расстояния «дует» солнечный ветер. Это расстояние составляет около 100 а. е., причем оно непостоянно: от максимума к минимуму солнечной активности расстояние, по-видимому, уменьшается в несколько раз.

Как можно это объяснить? Положение границы между солнечным ветром и галактическим магнитным полем определяется условием равенства давления ветра и действием всех внешних сил. С уменьшением солнечной активности уменьшается давление ветра. Внешнее давление, которое не зависит от солнечной активности, сжимает область, занятую ветром, до тех пор, пока внутреннее и внешнее давления не сравняются.

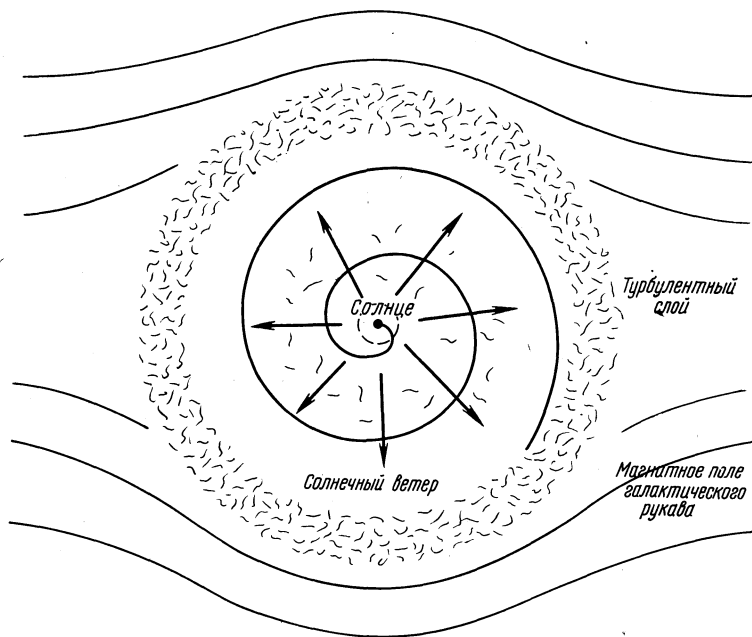
ЧТО НАХОДИТСЯ МЕЖДУ СОЛНЕЧНЫМ ВЕТРОМ И МЕЖЗВЕЗДНЫМ ПРОСТРАНСТВОМ?

Определение параметров модуляции позволяет исправить результаты наблюдений в районе орбиты Земли и найти истинные энергетический спектр и ядерный состав первичных космических лучей за пределами солнечного ветра. Эти оценки показывают, что плотность энергии космических лучей в нашей Галактике такова, что их давление, наряду с давлением галактического магнитного



11-ЛЕТНЯЯ ВАРИАЦИЯ солнечной активности (число солнечных пятен W) и космических лучей по данным наблюдений на высокоширотной станции (1), среднеширотной (2) и экваториальной (3). Кривая 3 характеризует вариации потока частиц высокой энергии более 15 $Бэв$ (т. е. 15 млрд. эв), кривая 2 отражает вариации потока частиц с энергией вплоть до 3 $Бэв$, а кривая 1 характеризует изменение потока частиц всех энергий, включая и самые малые

КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ помогли установить существование турбулизованного слоя плазмы на границе между солнечным ветром и галактическим магнитным полем. Этот слой рассеивает падающие космические лучи из Галактики. Благодаря турбулентным движениям плазмы (а следовательно, и вмороженным в плазму магнитным полям), в этом слое происходит ускорение малоэнергичных частиц. Толщина слоя составляет несколько миллиардов километров



поля, должно ограничивать распространение солнечного ветра расстоянием в сотню астрономических единиц в согласии с определениями по 11-летним вариациям космиче-

ских лучей. Причем между солнечным ветром и галактическим магнитным полем должна находиться промежуточная область — переходный турбулентный слой.



ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПОД МОНБЛАНОМ

Весной 1968 г. начаты эксперименты по измерению космических лучей высоких энергий в туннеле под Монбланом, соединяющем французскую Савойю с долиной Аоста в Италии. Цель экспериментов — установить интенсивность и состав, а также, возможно, и источник космических лучей, приходящих под малыми углами к горизонту, для сопоставления с данными по вертикальной компоненте, которые уже

получены в глубоких шахтах. Энергия изучаемых взаимодействующих частиц достигает 1000 *Бэв*.

Монблан в этих экспериментах служит своего рода фильтром для космических частиц. Оборудование, включающее счетчики Гейгера, электронные приборы и грузовики для их перемещения, размещено в запасных боковых помещениях и гаражах, находящихся в теле горы. Общий вес оборудования 6 т.

«Science News», 93, 10, 1968.

ПРОСТО ЦИФРЫ

Количество смертных случаев от землетрясений во всем мире в 1967 г., по сведениям Национального центра информации о землетрясениях США, на 74% меньше по сравнению с 1966 г. В 1966 г. от землетрясений во всем мире погибло 2968 человек. А шестнадцать крупных землетрясений, происшедших в 11 странах в 1967 г., привели к гибели 796 человек.

«Science News», 93, 12, 1968.

ОБЩАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ АТМОСФЕРЫ ОКЕАНА

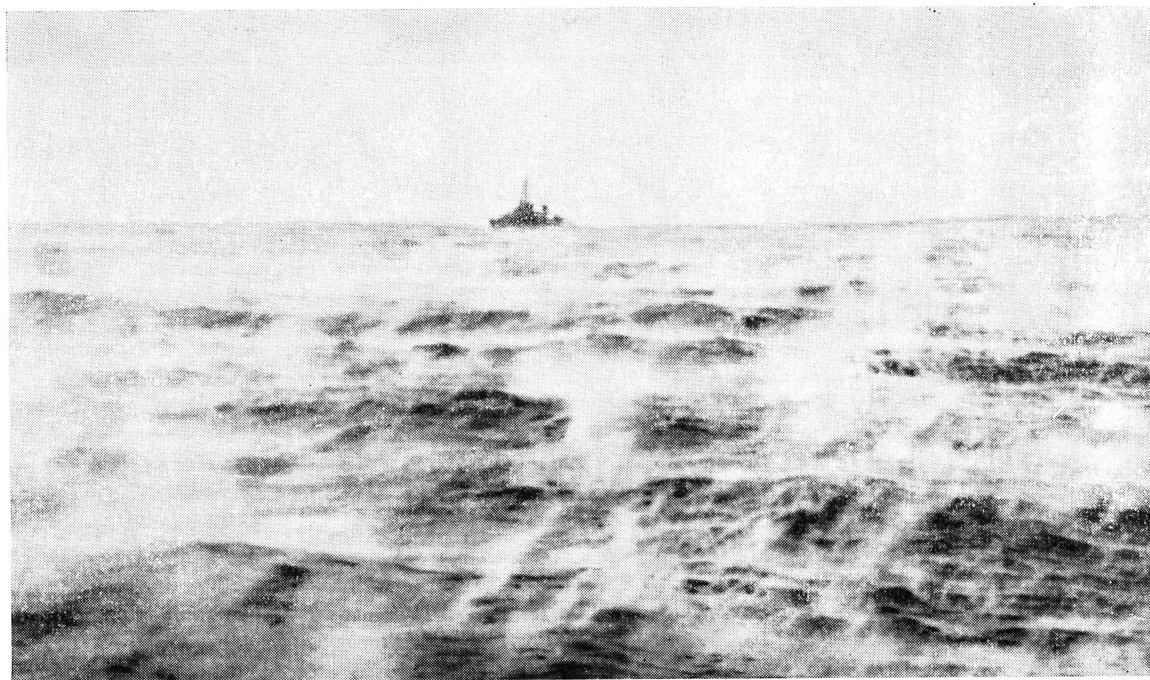
(математические модели)

С. С. ЗИЛИТИНГЕВИЧ

кандидат физико-математических наук

Важной и интересной теме общей циркуляции атмосферы и океана мы уже посвящали несколько статей: И. А. Хвостиков «Ученые обсуждают вопросы общей циркуляции атмосферы» (№ 2, 1965 г.); А. Д. Ямпольский «Что такое Гольфстрим?» (№ 5, 1965 г.); С. В. Немчинов «Динамика крупномасштабных атмосферных движений» (№ 6, 1965 г.); С. П. Хромов «Тропические ураганы» (№ 2, 1966 г.) и другие.

Предлагаемая вниманию читателя статья ознакомит его с современной проблемой математического моделирования общей циркуляции атмосферы и океана.



ТЕОРИЯ КЛИМАТА И ПРОГНОЗ ПОГОДЫ

В метеорологии и океанологии, как и во многих других областях науки, за последние двадцать — тридцать лет произошел скачок от накопления эмпирического материала и попыток качественного объяснения основных факторов к построению количественных теорий, опирающихся на общие законы физики и связанных с широким применением математической физики, вычислительной математики и теории вероятности. Пожалуй, наиболее яркий пример подобного рода исследований — «численные эксперименты» по общей циркуляции атмосферы и океана. Сущность работ этого направления состоит в численном решении (на электронно-вычислительных машинах) системы уравнений, описывающей ту или иную физическую модель атмосферных или океанических движений планетарного масштаба.

Главная цель расчетов атмосферной и океанической циркуляции — изучение физического механизма природных явлений, выяснение их основных причин, источников энергии и т. п. Однако значение этих разработок не ограничивается чисто научным интересом. Физико-математические модели являются фундаментом для построения количественной теории климата и развития численных методов долгосрочного прогноза погоды.

Собственно теория климата и примыкающие к ней гидродинамические методы долгосрочного прогноза погоды получили развитие главным образом уже в послевоенное время в работах Е. Н. Блиновой и ее учеников в СССР, а позднее и в работах американской школы, о которых подробнее мы будем говорить ниже. В области краткосрочного гидродинамического прогноза важнейшие результаты были получены И. А. Кибелем, А. М. Обуховым, А. С. Мониным в СССР, Дж. Чарни и Н. Филиппсом в США, А. Элиассеном в Норвегии.

ТУМАН НАД МОРЕМ — одно из проявлений процессов тепло- и влагообмена между атмосферой и водной поверхностью. Туман подобного вида наблюдается в условиях, когда вода значительно теплее воздуха. Снимок из книги Б. Кинсмана «Ветровые волны» (1965)



АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ ФРИДМАН (1888—1925) — выдающийся советский ученый — естествоиспытатель и математик. Широко известны его работы в области космологии. Однако вклад А. А. Фридмана в теоретическую метеорологию, пожалуй, не менее значителен. Его работы явились здесь началом применения математических методов к описанию широкого спектра атмосферных процессов — от мелкомасштабных флуктуаций до планетарных движений, формирующих общую циркуляцию атмосферы. А. А. Фридман (совместно с Л. В. Келлером) выполнил исследования турбулентных течений жидкости и газа, в значительной мере определившие пути дальнейшего развития этой области механики. (Снимок сделан в 1912 г. на квартире А. А. Фридмана в Павловске. Оригинал фотографии был любезно предоставлен академиком В. И. Смирновым автору статьи для опубликования)

Численные методы прогноза погоды — это предсказание изменений метеорологических полей путем интегрирования уравнений гидромеханики атмосферных процессов. В качестве начальных условий при этом используются данные наблюдений метеорологических станций: температура и влажность воздуха, атмосферное давление и т. д. Впервые такие прогнозы были осуществлены в 1940 г. в московском Центральном институ-

те прогнозов, в лаборатории И. А. Кибеля на основе его работы «Приложение к метеорологии уравнений динамики бароклиной жидкости». В настоящее время гидродинамические методы позволяют успешно прогнозировать, например, изменения атмосферного давления на срок около суток. Вычисление метеорологических полей на большие сроки встречает значительные трудности. Дело в том, что при краткосрочном прогнозе, вследствие сильного влияния начального состояния на развитие рассчитываемых процессов, оказывается допустимым существенное упрощение применяемых уравнений в основном за счет использования адиабатического приближения, т. е. пренебрежения притоком энергии. При увеличении срока прогноза

ошибки, связанные с этим упрощением, накапливаются и в конечном итоге приводят к полному искажению реальной картины. Объясняется это тем, что решающим фактором эволюции состояния атмосферы за долгие сроки является именно приток энергии.

Физический смысл возникающих здесь трудностей состоит в следующем: многие явления, которые при краткосрочном описании в первом приближении могут рассматриваться как связанные сравнительно простой причинной зависимостью, на самом деле взаимосвязаны сложным образом обычно через целую цепочку влияющих один на другой процессов. Связанными между собой оказываются не только динамические и термические процессы в атмосфере, но также и процессы, протекающие в атмосфере и океане. Подобного рода обратные связи — характерная черта атмосферной и океанической циркуляции. Их изучение и составляет главную задачу математического моделирования циркуляционных процессов.

Рассмотрим процесс обратной связи на примере эволюции облачной системы. Облачные системы возникают благодаря медленным восходящим движениям воздуха. Скорости таких движений обычно не превосходят нескольких миллиметров в секунду, однако и этого достаточно, чтобы поднимающиеся воздушные частицы охладились на несколько градусов (за счет расширения, связанного с понижением давления) и произошла конденсация атмосферной влаги, т. е. образовались облака. Восходящие движения воздуха, в свою очередь, определяются многими факторами, в частности, горизонтальной неоднородностью температурного поля. Температура же воздуха, как мы хорошо знаем, существенно зависит от притока тепла, излучаемого Солнцем. Тепловой поток экранируется облачностью и достигает Земли или поверхности океана только тогда, когда облачность отсутствует. Таким образом, облачность сама оказывается фактором, влияющим на восходящие движения. Описанная обратная связь проявляется, конечно, не сразу, что и позволяет в первом приближении пренебречь ею при составлении краткосрочного прогноза.

Особенно сложным является механизм взаимодействия атмосферы и океана. Воздействие ветра на водную поверхность является одной из главных причин возникновения океанических течений, таких, например, как Гольфстрим или Куро시오. Облачность, как

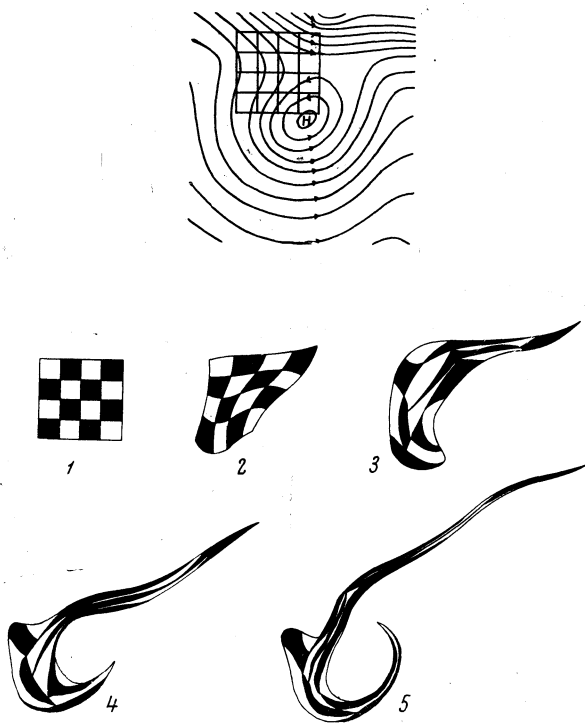


ИЛЛЮСТРАЦИЯ СЛОЖНОГО ХАРАКТЕРА адиабатического, т. е. протекающего без притоков энергии, движения воздуха на уровне поверхности постоянного давления в 500 мб (высота порядка 5 км). Расчет произведен П. Веландером в предположении баротропности, означаящем, что плотность воздуха зависит только от атмосферного давления. Пронумерованные изображения показывают, как происходило бы движение примеси, искусственно введенной в атмосферу, на выделенном участке (квадрат) через 6, 12, 24 и 36 часов

уже отмечалось, в значительной мере экранирует излучение Солнца и регулирует условия нагревания и охлаждения верхних слоев океана. Обратное воздействие океана на атмосферу проявляется, главным образом, в испарении влаги с водной поверхности и в тепловых процессах, что, в свою очередь, оказывает влияние и на ветер, и на облачность. Заметим, что вследствие большой теплоемко-



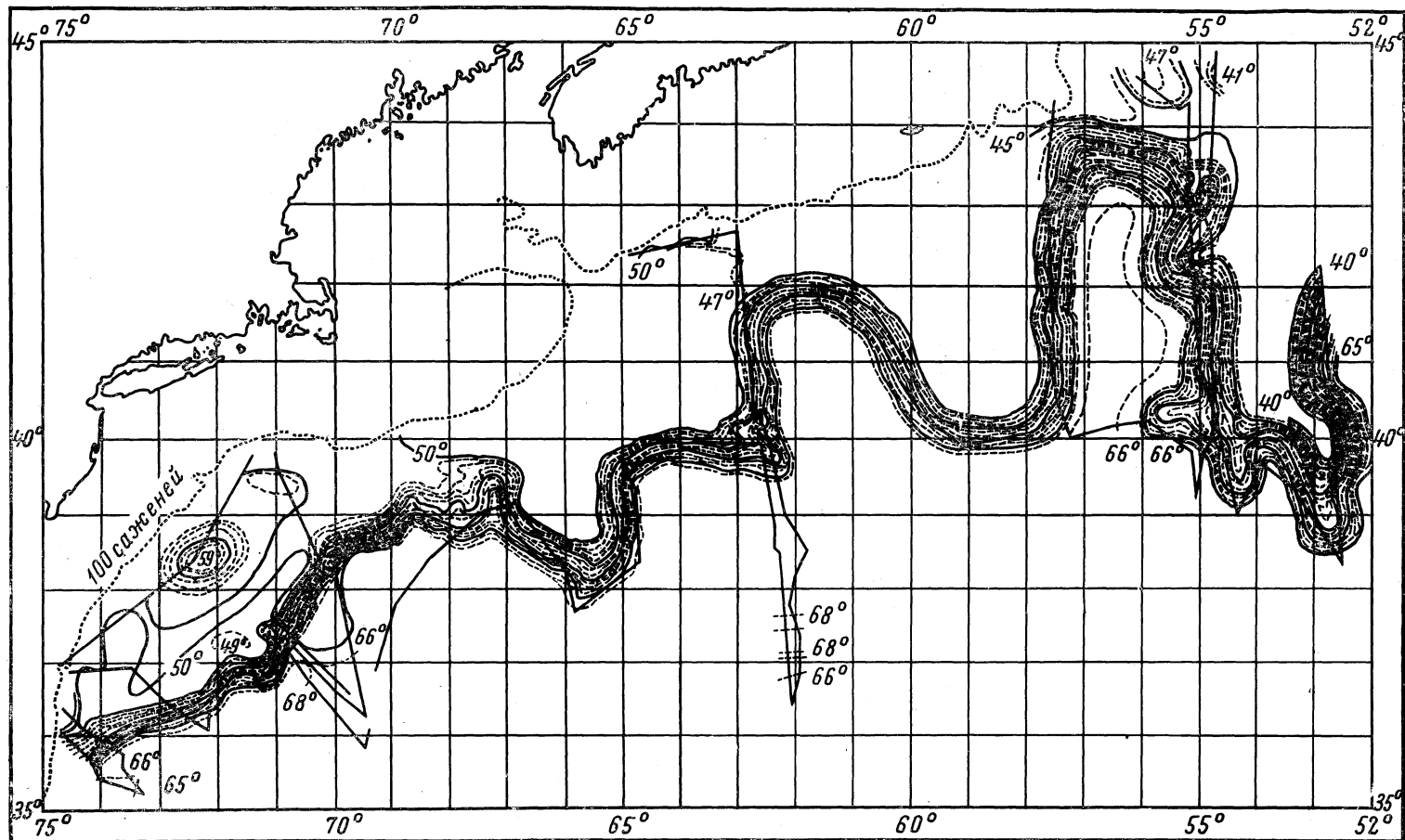
НИКОЛАЙ ЕВГРАФОВИЧ КОЧИН (1901—1944) — советский математик, гидродинамик и метеоролог. Его работы оказали значительное влияние на формирование динамической метеорологии как дисциплины, входящей в круг точных наук. В частности, Н. Е. Кочин впервые начал гидродинамические исследования общей циркуляции атмосферы. Вместе с А. А. Фридманом он создал крупную школу динамической метеорологии, представителями которой являются Е. Н. Блинова, И. А. Кибель, А. А. Доронницын, М. Е. Швец, М. И. Юдин и многие другие. Позднее в СССР образовалась другая крупная школа динамической метеорологии и океанологии, возникновение которой связано с работами по теории турбулентных течений жидкости и газа А. Н. Колмогорова, А. М. Обухова, А. С. Монина, А. М. Яглома и их учеников



ЛЬЮИС ФРАЙ РИЧАРДСОН (1881—1953) — английский ученый, работавший в области теории дифференциальных уравнений и динамической метеорологии. Еще в начале XIX в. Л. Ф. Ричардсон написал книгу «Предсказание погоды как вычислительный процесс», в которой впервые поставил задачу гидродинамического прогноза

сти воды океан играет роль аккумулятора тепловой энергии, накапливая ее в теплое время года и постепенно отдавая в атмосферу в холодное. Чтобы подчеркнуть значение этого процесса, достаточно сказать, что прогрев всей массы атмосферы на 6° за счет тепловой энергии океана потребовал бы охлаждения 100-метрового слоя воды всего на $0,1^\circ$. Таким образом, звеньями цепочки обратной связи между атмосферными и океаническими процессами оказываются явления самой различной природы от воздушных и океанических течений планетарного масштаба до молекулярных процессов на границе раздела вода — воздух.

Итак, проблемы долгосрочного прогноза



СХЕМАТИЧЕСКАЯ КАРТА ГОЛЬФСТРИМА (по Г. Стоммелу). Изотермы (в градусах Фаренгейта) даны на горизонте 200 м. Тонкими ломаными линиями показаны маршруты судов. Здесь Гольфстрим представлен единым простым потоком. При более детальном описании он выглядел бы как система течений, характеризующаяся сложной структурой



КАРЛ ГУСТАВ АРВИД РОССБИ (1898—1957) — геофизик, работавший в Швеции и США. Его работы, охватывающие почти все области динамической метеорологии и океанологии, характерны глубоким анализом физической сущности механизма процессов, протекающих в атмосфере и океане. К. Г. А. Россби был также крупным организатором научных исследований и педагогом; его учениками или сотрудниками в той или иной мере были Б. Болин в Швеции, А. Эллиасен в Норвегии, Дж. Чарни, Н. Филлипс и Г. Стомел в США и другие известные ученые

погоды и математического моделирования общей циркуляции атмосферы и океана тесно соприкасаются. В обоих случаях должен использоваться по существу один и тот же физико-математический аппарат. Только в теории общей циркуляции нас интересует основной фон и периодические сезонные изменения крупномасштабных процессов, а при прогнозе необходимо отыскивать аномалии (т. е. отклонения от нормы). В математической постановке это различие учитывается начальными условиями. При расчетах, имеющих целью выяснение физического механизма крупномасштабных процессов, отыскивают периодическое решение с годовым периодом, либо ставят более или менее произвольные начальные условия. В прогнозе необходимо использовать данные наблюдений гидрометеорологической сети, отражающие особенности реального исходного состояния атмосферы и океана. Наиболее важным началь-

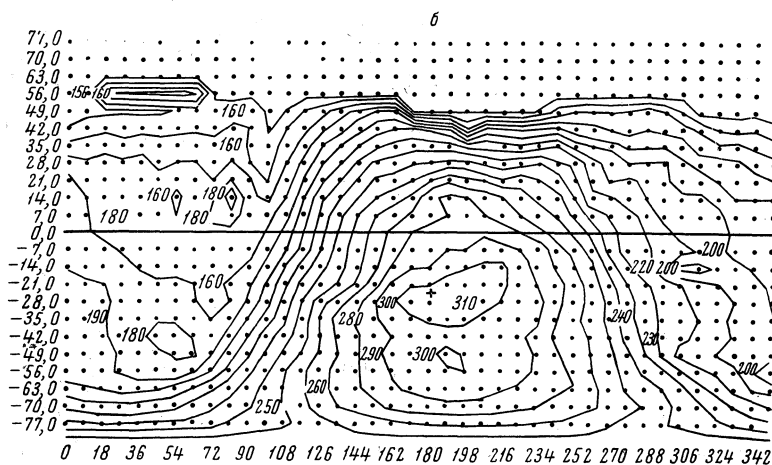
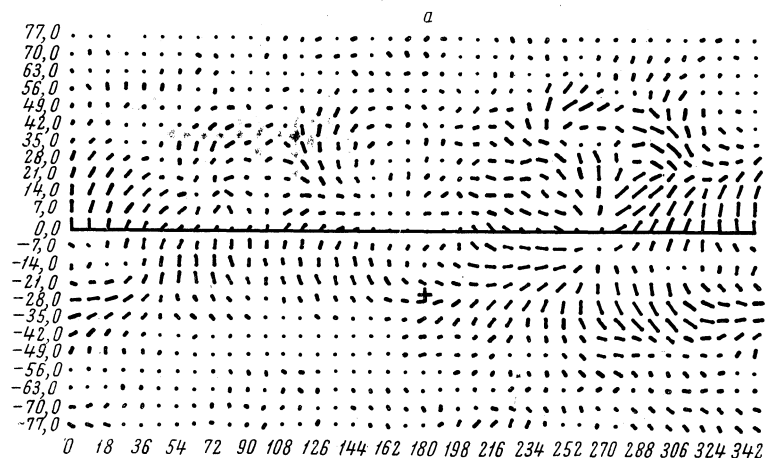
ным условием здесь должно быть поле температуры в океане.

Есть и другое отличие, правда, не принципиальное. Состоит оно в том, что использование всякого рода эмпирических связей, позволяющих «подправить» результаты расчетов, вполне допустимо и даже желательно при прогнозе погоды и весьма нежелательно при построении физико-математической модели долгосрочных изменений погоды. В последнем случае мы должны стремиться разработать теорию, позволяющую рассчитывать хотя бы основные черты общей картины физических явлений в атмосфере и гидросфере некоторой планеты по заданным значениям солнечной постоянной (потока излучения Солнца на верхней границе атмосферы), радиуса планеты, угловой скорости ее вращения, ускорения силы тяжести и тому подобных, так называемых внешних параметров задачи.

ДРУГИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

В связи с долгосрочным прогнозом погоды и «численными экспериментами» отметим еще сформулированную впервые советским математиком и естествоиспытателем А. Н. Колмогоровым проблему предсказуемости атмосферных процессов. Дело в том, что начальные данные, используемые при прогнозе, неизбежно содержат ошибки, обусловленные неточностью измерений, и в особенности тем, что необходимо заменять непрерывное описание гидрометеорологических полей заданием их значений в отдельных пунктах (пунктах измерения). Неточность начальных данных, разумеется, влечет за собой ошибки

в решении прогностических уравнений, причем эти ошибки возрастают с увеличением срока прогноза. Это обстоятельство, связанное с неустойчивостью рассматриваемой системы, ограничивает продолжительность периода предсказуемости, т. е. периода, на который прогноз может быть дан с требуемой точностью. Расчеты, основанные на достаточно близкой к реальности физической модели, позволяют выяснить этот период путем варьирования начальных данных в пределах отклонений, соответствующих реальным погрешностям. Оценки, выполненные Дж. Чарни с помощью «численных экспериментов» по общей циркуляции атмосферы, показывают, что при существующей сети гидрометеорологических станций период предсказуемости может быть не менее двух недель.



ПРИМЕРЫ КАРТ ВЕТРА (а) И ТЕМПЕРАТУРЫ (б) на верхней границе планетарного пограничного слоя в атмосфере Марса, полученные в «численном эксперименте» Ч. Б. Леови и И. Минца. По координатным осям отложены соответственно широта и долгота (в градусах). Ветровое поле показано стрелками, температурное — линиями постоянных значений, указанных (в абсолютной шкале) непосредственно на чертеже

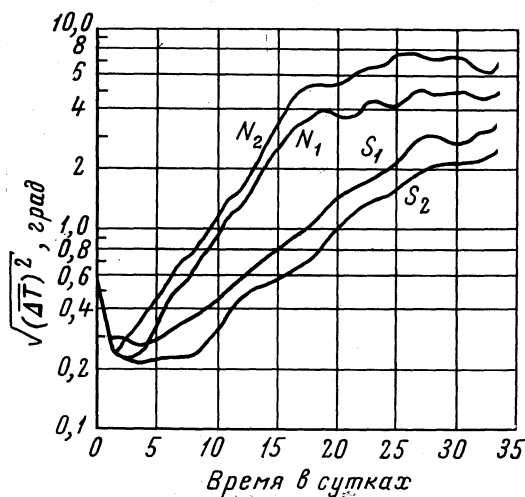


ИЛЛЮСТРАЦИЯ ПРЕДСКАЗУЕМОСТИ температурного поля, полученная Дж. Чарни на основе модели общей циркуляции атмосферы Й. Минца и А. Аракава. Кривые показывают, как с течением времени изменяется ошибка прогноза $\sqrt{(\Delta T)^2}$ (т. е. среднеквадратичное отклонение температуры от начальной, равной 250° абсолютной шкалы). Буквы N и S означают соответственно Северное и Южное полушария. Индексы 1 и 2 указывают высоты изобарических поверхностей, на которых вычислены температурные отклонения: 1 — 400 мб, 2 — 800 мб

В последнее время на основе более совершенной модели атмосферной циркуляции Дж. Смагоринский (США) получил для периода предсказуемости значение около месяца. При обсуждении этих результатов советских ученых А. С. Монин высказал предположение, что значение периода предсказуемости в численных экспериментах должно возрастать с увеличением в используемой модели числа степеней свободы. Согласно этой точке зрения, результат Дж. Смагоринского (так же как и результат Дж. Чарни) представляет собой по отношению к реальной атмосфере заниженную оценку.

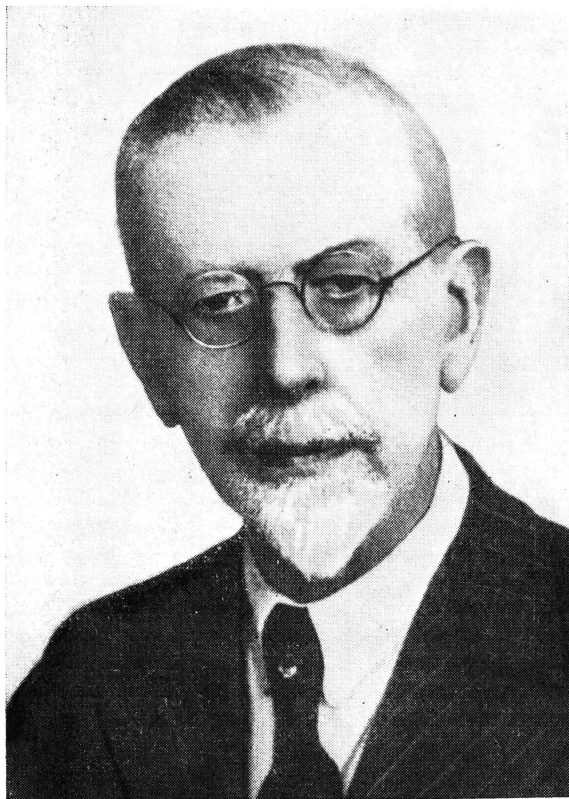
Мы уже отмечали, что построение физико-математических моделей атмосферной и океанической циркуляции, помимо приложений к прогностическим задачам, интересно и с точки зрения теории климата. В частности, подход, основанный на «численных экспериментах», позволяет рассчитывать климат других планет или климат Земли в прошлые геологические эпохи. В настоящее время уже предпринималась попытка математи-

ческого моделирования общей циркуляции атмосферы на Марсе.

Другое интересное приложение представляет оценка возможных результатов всякого рода воздействий на климат в планетарном масштабе. В частности, умея достаточно точно рассчитывать общую картину атмосферных и океанических движений, можно ответить на вопрос, что произошло бы с климатом Земли, если бы тем или иным способом были на время растоплены льды Арктики. В географической и геофизической литературе по этому поводу высказывалась гипотеза, согласно которой льды после растопления не будут восстанавливаться, в результате чего на всей Земле должно произойти резкое потепление климата. Убедительного обоснования эта гипотеза не имеет. Напротив, известно, что в послеледниковый период льды Арктики дважды (во время так называемого «климатического оптимума» и «эпохи викингов») после значительного таяния вновь восстанавливались. «Численные эксперименты» по общей циркуляции атмосферы и океана могли бы убедить в справедливости или ошибочности обсуждаемой гипотезы.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

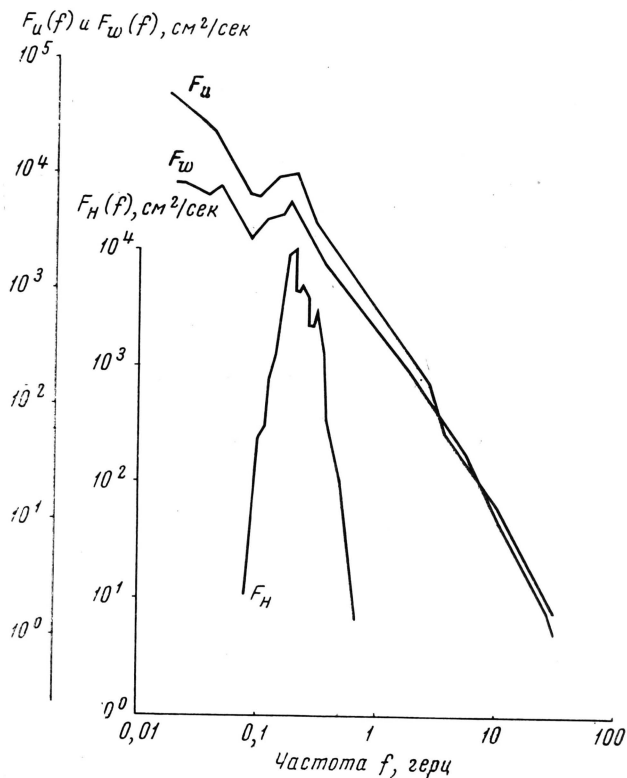
Рассмотрим теперь вкратце, что же сделано к настоящему времени в области математического моделирования атмосферной и океанической циркуляции. Прежде всего отметим, что расчеты совместной циркуляции атмосферы и океана (в которых учитывались бы соответствующие обратные связи) до сих пор не производились. По существу не рассчитывалась и океаническая циркуляция во всем мировом океане. В то же время аппарат теории морских течений, получивший современное выражение в работах В. В. Шулейкина, В. Б. Штокмана, П. С. Линейкина (СССР), Г. Стоммела, У. Манка (США), а также других ученых, в достаточной степени разработан, и численные эксперименты по глобальной океанической циркуляции сейчас вполне осуществимы. Более того, в работах советских ученых В. М. Каменковича, А. С. Саркисяна, А. И. Фельзенбаума, а также К. Брайена и М. Кокса, работающих в США, уже имеются примеры расчета океанической циркуляции (в ограниченном бассейне) при заданном поле ветра, характеризующем одностороннее энергетическое воздействие атмосферы на океан.



ВАГН ВАЛЬФРИД ЭКМАН (1874—1954) — шведский океанолог, создатель теории дрейфовых и градиентных течений. В связи с этими работами имя ученого вошло и в научную терминологию: однородный пограничный слой, который образуется во вращающейся жидкости под действием сил трения и силы Кориолиса, носит название слоя Экмана

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ вертикальных (F_w) и горизонтальных (F_u) пульсаций скорости ветра и колебаний уровня водной поверхности (F_H) по С. А. Китайгородскому. (Данные совместной экспедиции Института физики атмосферы АН СССР и Института океанологии АН СССР на научно-исследовательском судне «Академик Вавилов», 10 сентября 1965 г., Средиземное море). Общий максимум на частоте около 0,2 гц наглядно показывает взаимодействие процессов мелкомасштабного обмена в атмосфере и океане

Важным звеном в системе океан — атмосфера является так называемое мелкомасштабное взаимодействие, т. е. процессы тепло- и влагообмена между водной поверхностью и воздухом, а также передачи кинетической энергии ветра океаническим течениям и волнам. Механизм этих процессов, протекающих в сравнительно тонком слое вблизи границы раздела обеих сред, весьма сложен. Его исследование, требующее сочетания теоретического анализа и физического эксперимента — одна из важных задач современной морской метеорологии. Здесь весьма плодотворным оказался подход, связанный с применением теории подобия, основные идеи которого были предложены А. С. Мониним и А. М. Обуховым. В работах этих авторов, посвященных исследованию пограничного слоя в стратифицированной среде, были установлены универсальные законы турбулентного обмена, являющегося главным регулятором взаимодействия атмо-



сферы с подстилающей поверхностью. В связи с этими результатами в последние годы в Институте физики атмосферы АН СССР, а затем и в ряде научных организаций США, Австралии, Англии, Японии, ФРГ и других стран были проведены обширные исследования, в программу которых входило получение экспериментальных данных о турбулентных потоках в атмосфере и их систематизация на основе теории подобия. Не останавливаясь на детальном обсуждении процессов мелкомасштабного взаимодействия, отметим, что на основе указанного выше комплекса исследований, а также в результате развития теории планетарного пограничного слоя атмосферы в настоящее время появилась реальная возможность достаточно уверенно рассчитывать основные энергетические характеристики, представляющие интерес при изучении обратных связей между процессами большого масштаба в атмосфере и океане.

В обсуждаемой проблеме наиболее разработаны расчеты атмосферной циркуляции. Началом современного этапа этих исследований послужили работы по созданию гидродинамических методов долгосрочного прогноза погоды Е. Н. Блиновой и ее учеников. В настоящее время эти работы интенсивно развиваются, причем некоторые результаты уже успешно используются в оперативной деятельности Гидрометеорологического центра СССР. Говоря о «численных экспериментах» по общей циркуляции, мы должны указать далее цикл работ, выполненных в США. В первую очередь здесь следует назвать работу Н. Филлипса, опубликованную в 1956 г., в которой использовалась еще очень упрощенная модель атмосферы. Сейчас в США выполнено уже несколько работ подобного рода, в которых применяются физические модели различной сложности. В наиболее совершенных моделях, разработанных под руководством Дж. Смагоринского, Й. Минца и С. Лейтса, учитываются основные притоки энергии, в том числе одностороннее энергетическое воздействие океана на атмосферу. В последнее время делаются попытки рассчитать и эффекты, связанные с облачностью.

Во многих «численных экспериментах» полагалось, что в начальный момент времени атмосфера находится в состоянии покоя. При этом было получено, что по истечении достаточно большого промежутка времени (около ста дней) рассчитываемая картина движений



ЮЛИЙ МИХАЙЛОВИЧ ШОКАЛЬСКИЙ (1856—1940) — советский океанолог, автор одного из первых в мировой литературе и первого отечественного курса, в котором наука об океане систематически излагается на основе общих законов физики. В работах Ю. М. Шокальского, основанных на обобщении большого экспериментального материала, были установлены важные закономерности формирования морских течений в конкретных физико-географических условиях

становится очень похожей на действительность. Любопытно, что рассчитываемая величина кинетической энергии атмосферы с течением времени возрастает, а затем начинает колебаться около некоторого значения. Важно отметить, что это значение по порядку величины совпадает с наблюдаемым. Более того, расчеты дают не только общий фон, определяющий движения планетарного масштаба, но также и сравнительно мелкомасштабные флуктуации типа циклонов и антициклонов. Интенсивность такого рода флуктуаций также оказывается весьма близкой к наблюдаемой. Этот результат чрезвычайно важен. Он подтверждает, что используемые уравнения в целом правильно описывают многие существенные черты природного механизма.



ХАРАЛЬД УЛЬРИК СВЕРДРУП (1888—1957) — норвежский геофизик, работавший также и в США, автор фундаментальных работ по гидродинамической теории морских течений. Х. У. Свдруп один из первых обратил внимание на важность изучения процессов взаимодействия океана и атмосферы

Итак, основные звенья физического механизма системы океан — атмосфера (океанические течения, мелкомасштабное взаимо-

действие и общая циркуляции атмосферы) в настоящее время можно считать в большей или меньшей степени изученными. Одной из наиболее актуальных задач современной геофизики остается расчет совместной атмосферной и океанической циркуляции. Не следует думать, однако, что подобная задача может быть решена простым соединением результатов, полученных для каждой области отдельно. Мы должны всегда помнить об обратных связях между процессами в океане и атмосфере, учет которых существенно усложняет построение адекватной физико-математической модели изучаемых явлений природы.

Отметим в заключение, что объем вычислительных работ в обсуждаемых задачах чрезвычайно велик. Даже самые мощные современные электронные вычислительные машины оказываются недостаточно совершенными для решения таких задач в наиболее полной постановке. Вот почему необходимо использовать упрощенные физические модели. Кроме того, возникают математические проблемы, связанные с разработкой эффективных методов интегрирования нелинейных уравнений гидродинамики. Важные результаты в этом направлении, имеющие непосредственное отношение к динамической метеорологии и океанологии, получены американским математиком Дж. фон Нейманом, советским математиком и физиком Г. И. Марчуком, американским геофизиком А. Аракава и другими учеными.

В исследовании атмосферной и океанической циркуляции проблемы, связанные с вычислительной математикой, наряду с физическими проблемами, играют очень важную роль. Дальнейший прогресс в этих исследованиях может быть достигнут в результате совместных усилий физиков и математиков. Важным условием успеха при этом является возможность использования более совершенной вычислительной техники.

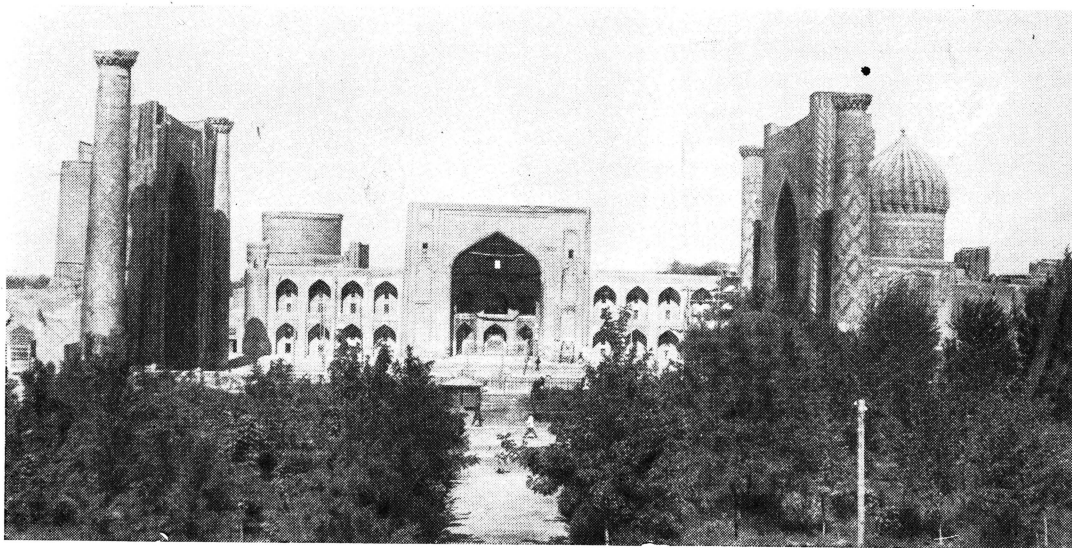
ВЫПРЯМЛЕНИЕ САМАРКАНДСКИХ МИНАРЕТОВ

Д. А. ДРЕННОВ

Древнейшему из городов мира — Самарканду — 2500 лет. Его украшение и гордость — медресе, минареты, мечети, возведенные в XV—XVII вв., привлекают внимание многочисленных советских и зарубежных туристов. Однако неумолимое время разрушает чарующие памятники старины и, чтобы уберечь их, ведутся различного рода кропотливые восстановительные работы, а в необходимых случаях и геодезические.

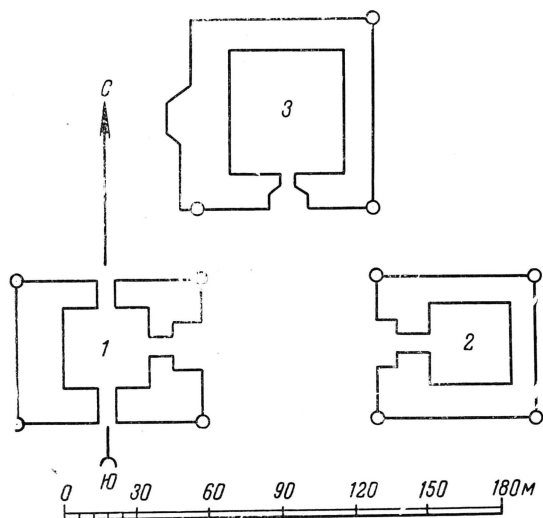
В знаменитом ансамбле трех медресе на самаркандской площади Регистан расположено медресе Улугбека. Оно построено в 1417—1424 гг.

Углы медресе венчали когда-то четыре стройных и тонких минарета. В 1870 г. разрушился юго-западный минарет и был впоследствии восстановлен только до высоты



АНСАМБЛЬ ТРЕХ МЕДРЕСЕ на площади Регистан

Фото Е. Юдицкого



ПЛАН АНСАМБЛЯ ТРЕХ МЕДРЕСЕ на площади Регистан: 1 — медресе Улугбека; 2 — медресе Ширдор; 3 — медресе Тилля-Кари

стен. Три сохранившихся минарета сильно накренились.

Северо-восточному минарету угрожало падение: угол его наклона достиг в 1932 г. критической величины — $4^{\circ}22'$. В этом же году минарет был выпрямлен по проекту М. Ф. Мауэра. (Необходимые геодезические данные для выпрямления северо-восточного минарета были определены еще в 1927 г. Работы проводил геодезист В. Антонов под руководством главного архитектора Самарканда М. Ф. Мауэра при участии Е. О. Нелле. Выпрямление производилось по кинетической схеме, предложенной почетным академиком В. Г. Шуховым.)

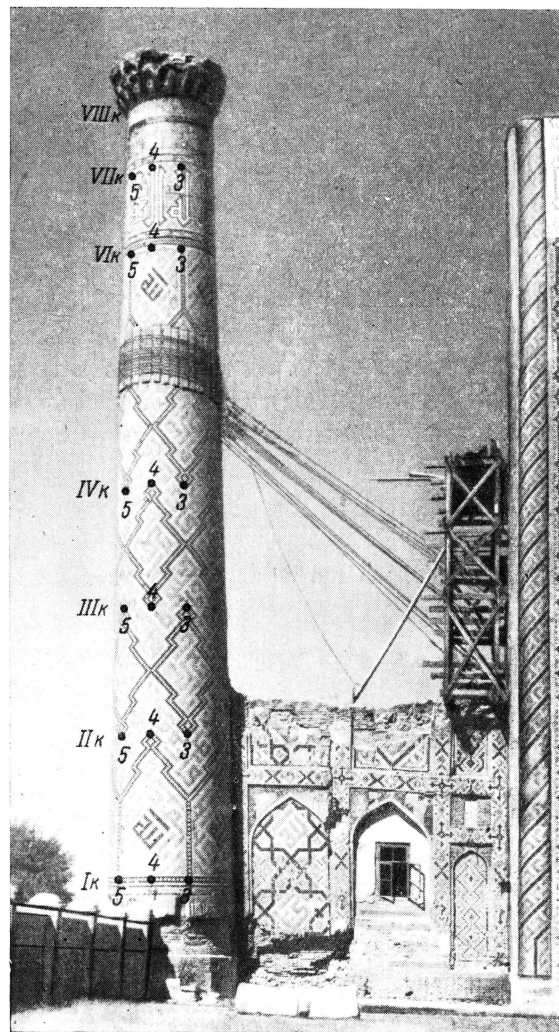
Предстояло выпрямить и юго-восточный минарет. В проекте выпрямления предполагалось определить угол наклона минарета относительно вертикальной линии, или величину крена, направление этого крена (румб) относительно оси X в принятой системе координат и размеры минарета (высоту и диаметры колец).

Для указанной цели потребовалось произвести плановое и высотное геодезическое обоснование, т. е. строго определенное расположение пунктов на земной поверхности, от которых определялись координаты необходимых точек на минарете.

Для этого в районе юго-восточного минарета на расстояниях до 80 м от него в 1946 г.

геодезистом С. С. Стерлядкиным при участии Е. О. Нелле была проложена полигонометрия в комбинации с микротриангуляцией с точностью до 1:4000.

Исходя из координат этих пунктов на теле минарета были определены координаты точек на всех 8-ми кольцах минарета (по 10



ЮГО-ВОСТОЧНЫЙ МИНАРЕТ медресе Улугбека до выпрямления. По симметричному расположению фигур, выполненных цветными изразцами, на минарете обозначены 8 колец (римские цифры). На каждом кольце намечено по 10 равномерно расположенных точек (арабские цифры). Одноименные точки находятся в одной плоскости, проходящей через ось минарета

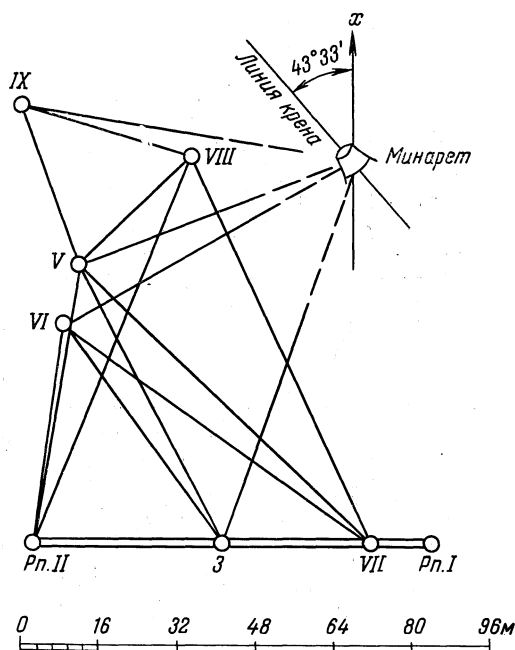


СХЕМА ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ, выполненного в 1961 г.: V, VI, VII, VIII, IX — пункты микротриангуляции 1961 г.; Рп. I, Рп. II, 3 — пункты полигонометрии 1946 г.

точек на кольце). На основании этих координат были вычислены величины крена, направление крена и размеры минарета. Так как выпрямление минарета задерживалось, то в 1950 г. его временно закрепили стальными тросами.

В 1961 г. геодезические работы для выпрямления минарета были повторно выполнены автором данной статьи, причем из всех пунктов геодезического обоснования 1946 г. были найдены и использованы только три, на основе которых была разбита микротриангуляция той же точности в количестве 5 пунктов. Координаты этих пунктов были вычислены в условной системе 1946 г.

Исходя из координат пунктов на всех кольцах минарета, кроме V, были определены координаты точек: 1, 2, 3, 4 и 5.

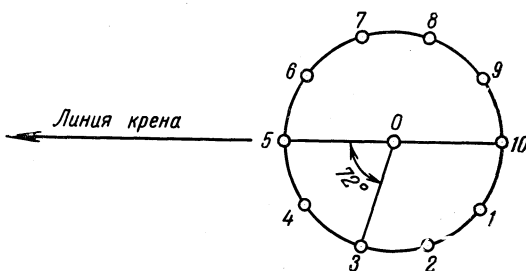
Сравнение этих координат с координатами 1946 г. показало их совпадение в пределах ± 2 см, что свидетельствовало о неизменном положении минарета в пространстве за период 1946—1961 гг. и потому координаты остальных точек — 6, 7, 8, 9 и 10 — на всех 8-ми кольцах, а также точек 1, 2, 3, 4 и 5

V кольца были заимствованы из определений 1946 г.

Абсолютные высоты всех пунктов 1946 и 1961 гг. определены из геометрического нивелирования.

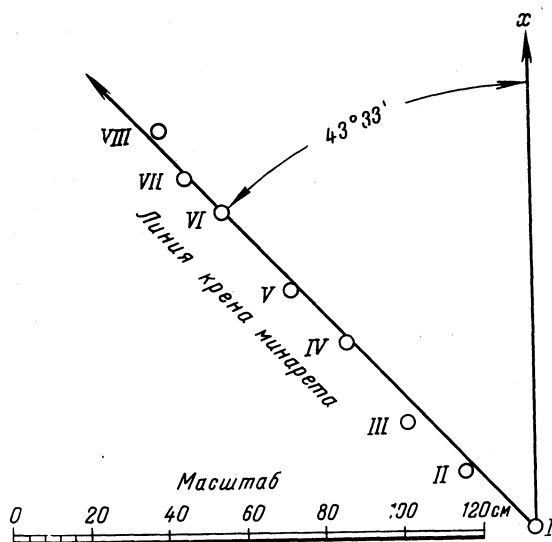
Перенесение точек колец на план проводилось графически. Все точки каждого кольца минарета по координатам наносились в масштабе 1:20 на миллиметровую бумагу. Затем соседние точки соединялись отрезками прямых линий — это были хорды кольца. Из середины каждой хорды восстанавливались перпендикуляры, которые могли пересекаться в одной точке при двух условиях: если бы минарет имел форму строго усеченного конуса, а геодезические работы выполнялись с абсолютной точностью. В действительности минарет не является строго усеченным конусом, а координаты точек определялись с точностью ± 2 см, поэтому все перпендикуляры пересекались в пределах площадки около 3—5 мм² (на плане).

На этой площадке простым подбором отыскивали такое положение центра, чтобы проведенная из него окружность пересекала наибольшее число точек данного кольца. Таким образом, на чертеже графически определялись и координаты найденного центра и диаметры колец. Были определены следующие размеры диаметров колец минарета: I — 4,0 м; III — 3,72 м; VI — 3,24 м; VIII — 3,06 м.



ПРОЕКЦИИ КОЛЕЦ наклонного минарета на горизонтальную плоскость представляют собой эллипсы, малые оси которых располагаются на линии крена минарета и проходят через точки 5 и 10; большие оси проходят посередине между точками 2—3 и 7—8. Однако разности между осями в несколько раз меньше точности измерений, что позволило считать проекции колец минарета окружностями. На чертеже показан угол (72°), под которым был установлен один из теодолитов относительно линии крена

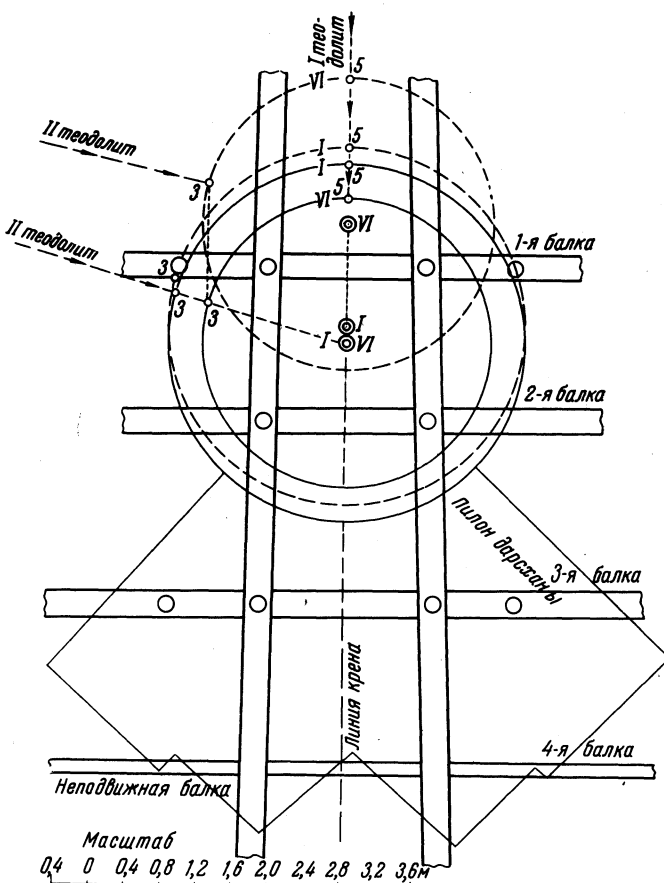
Направление оси минарета и ее крен относительно вертикальной линии определялись из вычислений. Наиболее вероятным направлением крена оси минарета могло быть направление прямой линии, соединяющей центры I и VI колец. Оно было вычислено относительно оси X и равно $43^{\circ}33'$. Величина крена оси минарета оказалась равной $3^{\circ}01'$. Отклонение вершины минарета от вертикальной линии при величине крена $3^{\circ}01'$ и высоте минарета 32,3 м составило 1,96 м.



ЦЕНТРЫ КОЛЕЦ МИНАРЕТА, нанесенные по графическим координатам, расположились вдоль прямой линии (с отклонениями от нее не более чем на 3 см), которая соединяет центры I и VI колец. По горизонтальной проекции отрезка прямой между центрами колец I—VI (1,10 м) и по разности высот этих колец над горизонтальной плоскостью (21,80 м) была вычислена величина крена оси минарета — $3^{\circ}01'$.

Геодезические работы для подготовки минарета к выпрямлению были выполнены в январе 1965 г. Контрольное определение координат точки 3 (VI кольцо) показало, что они совпали с координатами той же точки, полученными в 1961 г. Это подтверждало постоянство направления линии крена и угла наклона оси минарета.

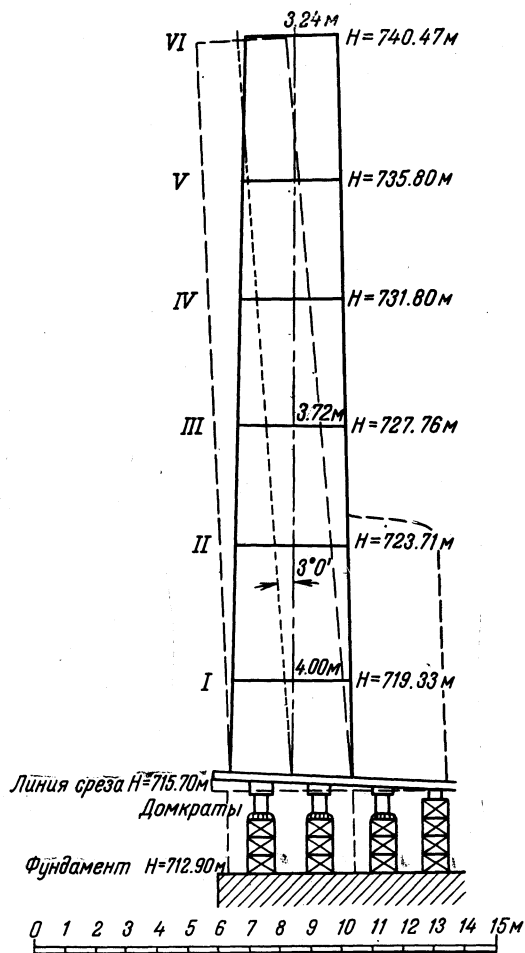
Направление линии крена и угол наклона были исходными данными для разбивочных работ в теле минарета. Разбивочные ра-



ПЛАН размещения подъемных балок в пилоне дарсханы и теле минарета. Из четырех поперечных балок три опирались на десять 200-тонных домкратов, а четвертая оставалась неподвижной на фундаменте. Показаны I и VI кольца до (пунктир) и после (сплошные линии) выпрямления: двойные кружки — центры колец, кружки — домкраты

боты заключались в определении направления осей специальных галерей, а также положения точек, определяющих ширину галерей (влево и вправо от оси). Галереи пробивались в теле минарета и в пилоне дарсханы (комната учащихся), примыкающем к минарету, для укладки подъемных балок.

Все направления обозначались на теле минарета и на пилоне вертикальными линиями (краской), а на земле — железными



РАЗРЕЗ МИНАРЕТА в плоскости крена. Четыре домкрата на линии первой балки должны были поднять ее на 31,1 см; два домкрата на линии второй балки — на 21 см, а четыре домкрата на линии третьей балки — на 10,1 см. Пунктирная линия — ось минарета до выпрямления, штрих-пунктирная линия — ось выпрямленного минарета, H — высота над уровнем моря

ТОЧКИ, расположенные в одной вертикальной плоскости и в 3 см от линии крена. Исключительно благоприятным обстоятельством было то, что в этих точках начались одинаковые рисунки (цепочки белых и синих квадратиков), что помогало отличить их от любых других



альные водяные уровни. Многочисленные геодезические измерения, предшествовавшие работам по выпрямлению минарета, выполнены автором статьи и геодезистами А. И. Разуменко и Ф. Ф. Гавриловым.

Геодезические работы в процессе выпрямления заключались в наблюдении за точками VI и I колец двумя теодолитами. Первый теодолит был установлен в плоскости линии крена минарета (в 60 м от него).

Пока выпрямляли минарет, точка 5 VI кольца почти не сходила с вертикальной нити сетки трубы теодолита, лишь иногда отклоняясь то вправо, то влево не более чем на 2 см, что свидетельствовало о плавности работы гидравлических домкратов.

Второй теодолит был установлен в 80 м от минарета под углом в 72° к линии крена. Именно под таким углом на I и VI кольцах от точки 3 отходили цепочки из белых и синих квадратиков (подобные точкам 5 I и VI колец). В момент приближения оси минарета к вертикали труба теодолита, наведенная на точку 3 (I кольцо), была повернута на высоту VI кольца. Когда в поле зрения трубы показалась точка 3 (VI кольцо), быстро приближающаяся к вертикальной нити сетки трубы теодолита, была дана команда ослабить работу домкратов. Труба теодолита снова была направлена на точку 3 (I кольцо), причем нужно иметь в виду, что она не стояла на месте, а также передвигалась, правда, очень медленно (за весь период выпрямления минарета она передвинулась на 19 см, в то время как точка 3 VI кольца — на 131 см).

штырями. Были разбиты направления для двух галерей, расположенных вдоль линии крена, и для четырех поперечных, перпендикулярных к ней.

После подведения балок под минарет и пилон дарсханы вся нагрузка поднятого над фундаментом сооружения (1000 т!) передается на гидравлические домкраты (на них опираются 4 поперечные балки) и осуществляется выпрямление. Для того чтобы следить за равномерной работой домкратов, на подъемных балках были поставлены специ-



МЕДРЕСЕ УЛУГБЕКА. Общий вид. Снимок сделан в мае 1968 г.

И лишь после того, как точки 3 (VI и I колец) с цепочками белых и синих квадратиков при передвижении трубы теодолита снизу вверх совпали с вертикальной нитью сетки трубы, работа домкратов была немедленно остановлена.

Для суждения о точности выпрямления минарета проведены контрольные измерения. В результате было установлено, что линия, соединяющая центры I и VI колец, занимает вертикальное положение с возможным отклонением от него в 2,5 минуты дуги, что следует признать отличным.

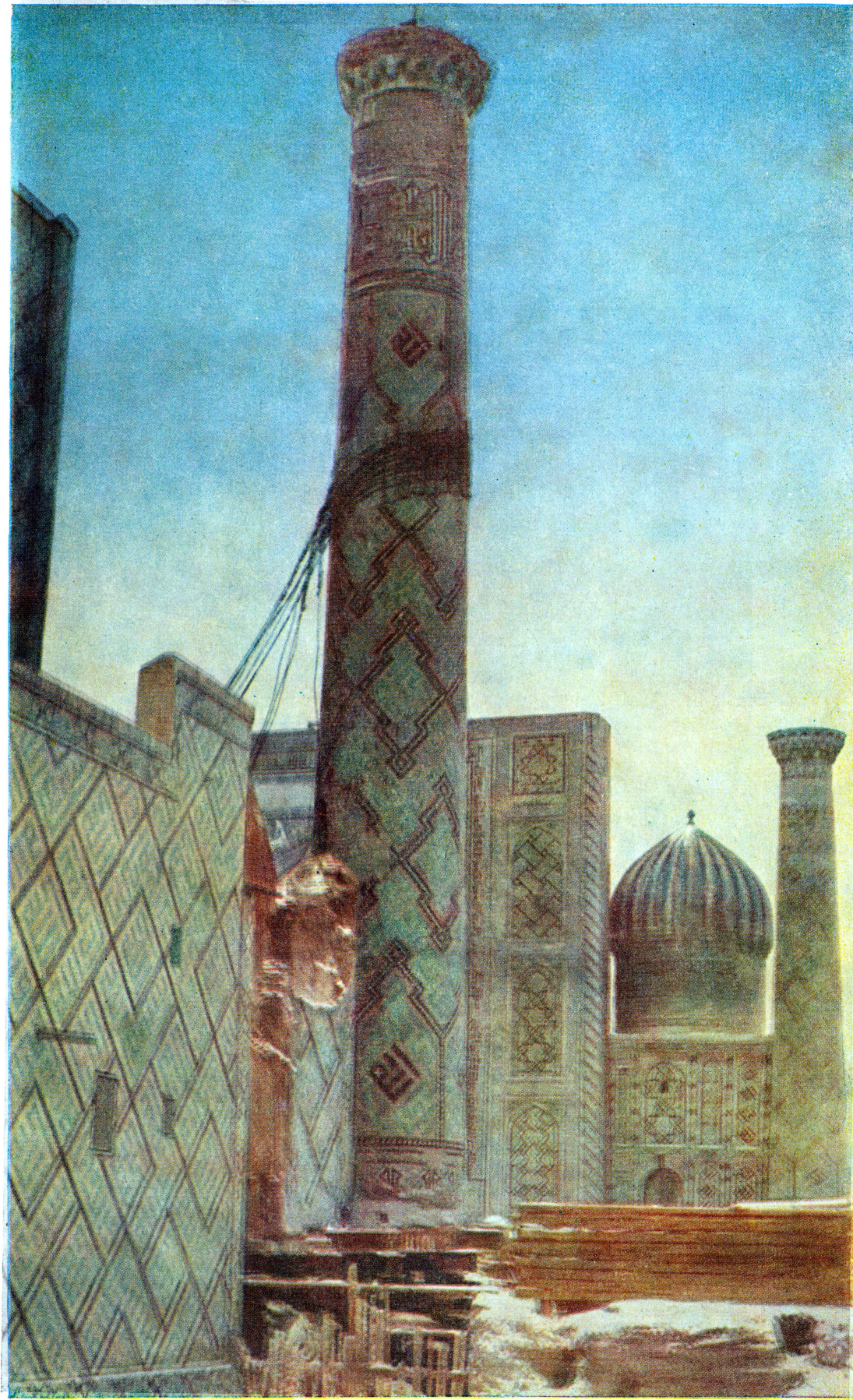
В геодезических работах при выпрямлении минарета принимали участие автор статьи и геодезисты В. М. Штейн и Ф. Ф. Гав-

рилов. Составил проект выпрямления минарета и руководил подготовительными работами, а также процессом выпрямления кандидат технических наук Э. М. Гендель.

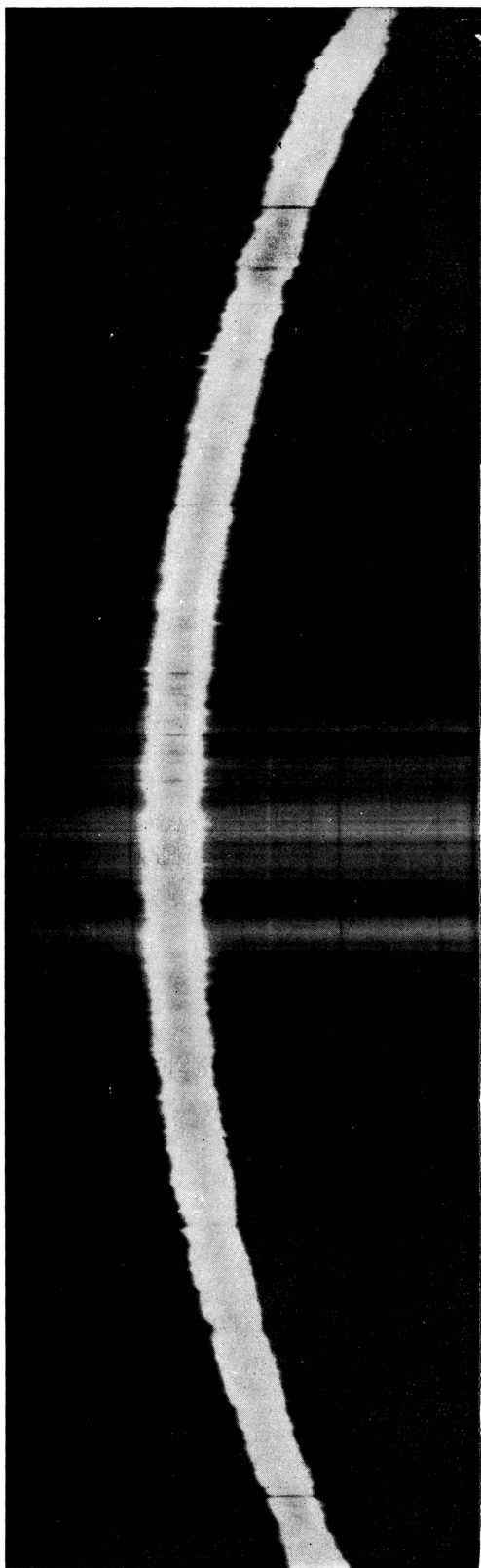
В ближайшее время начнутся работы по консервации развалин соборной мечети Тимура, известной под названием Мечети Биби-Ханым. Это было когда-то самое грандиозное сооружение Самарканда.

«Ее купол был бы единственным, если бы небо не было его повторением; единственной была бы арка, когда бы Млечный путь не оказался ей парой».

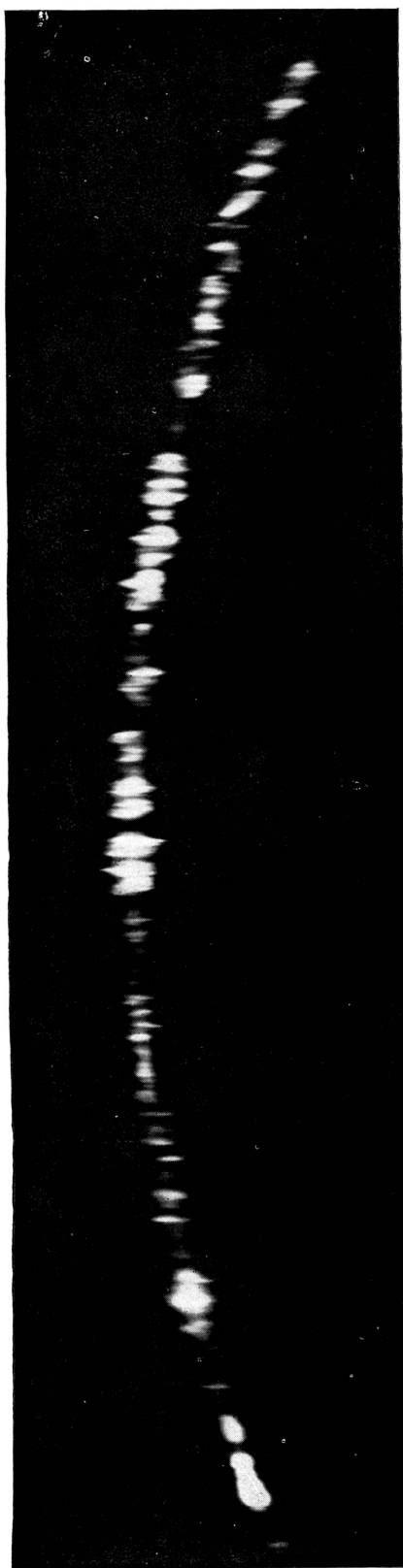
(Из описания мечети в истории Тимура «Книга побед» Шереф-эд-дина.)



направление вдоль щели спектрографа —→



$h = 1000 \text{ км}$



$h = 4000 \text{ км}$

направление вдоль дисперсии спектрограмм —→

НАБЛЮДЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ХРОМОСФЕРЫ НА БОЛЬШОМ ВНЕЗАТМЕННОМ КОРОНОГРАФЕ

Г. М. НИКОЛЬСКИЙ
доктор физико-математических наук

Описываются спектры хромосферы в области яркой линии водорода H_{α} , полученные на крупнейшем внезатменном коронографе.

СПЕКТРЫ ХРОМОСФЕРЫ В ЛИНИИ ВОДОРОДА H_{α} (6562,8 Å), полученные на крупнейшем внезатменном коронографе Г. М. Никольским, Н. С. Шиловой и В. И. Макаровым. Щель спектрографа, концентричная краю солнечного изображения, располагалась на различных гелиоцентрических высотах h . Репродукции увеличены по сравнению с оригинальными негативами в 4,1 раза. Масштаб на репродукциях: 4,1 мм вдоль дисперсии равен 1 Å; а 1 мм вдоль направления щели — 4'',0 или 2800 км на Солнце.

Спектр хромосферы, соответствующий гелиоцентрической высоте 1000 км. Экспозиция — 0,1 секунды. В центральной части линии H_{α} , имеющей ширину около 1 Å, заметен провал интенсивности, обусловленный большой оптической толщей хромосферы в этой линии. Справа от линии H_{α} , на расстоянии около 3 Å от ее центра, заметна слабая линия ионизованного титана, светящаяся в нижней хромосфере. Полоски рассеянного света в центральной части щели объясняются атмосферным дрожанием солнечного изображения. На фоне этих полосок видны темные фраунгоферовы линии, характерные для спектра фотосферы.

Спектр хромосферы, соответствующий гелиоцентрической высоте 4000 км. Экспозиция — 0,3 секунды. Отчетливо заметно разделение хромосферы на спиккулы, чаще на группы отдельных спиккул, накладывающихся друг на друга. Иногда встречаются и совершенно изолированные одиночные спиккулы. В нижней части щели виден небольшой протуберанец, более яркий чем спиккулы. Протуберанец легко отличить от группы спиккул по его меньшей ширине вдоль дисперсии

После окончательной юстировки на крупнейшем коронографе* с 53-сантиметровым объективом, установленном близ Кисловодска, были сфотографированы спектры хромосферы и короны. Как же получают подобные снимки?

Изображение Солнца диаметром в 125 мм проектируется на щель спектрографа. Собственно изображения фотосферы не видно, так как она закрыта искусственной лунной коронографом, а заметна лишь узкая (шириной в несколько угловых секунд) полоска края фотосферы. Щель спектрографа — дуга в 60° с радиусом, равным радиусу солнечного изображения, — располагается концентрично лимбу (краю) Солнца, на необходимом расстоянии от него. В дальнейшем, когда речь будет идти о гелиоцентрической высоте, выраженной в километрах или секундах дуги, следует помнить, что подразумевается именно это расстояние. В фокальной плоскости спектрографа 1 мм вдоль направления дисперсии соответствует 1 Å (дисперсия равна 1 Å/мм), а 1 мм вдоль щели — 16 секундам дуги (16'') или 10 000 км на Солнце.

Серьезные трудности при наблюдениях хромосферы возникают из-за дрожания края Солнца, обусловленного движениями масс воздуха в земной атмосфере. Амплитуда этих волнообразных колебаний даже в хорошие

* Подробно конструкция и оптическая схема коронографа описаны в статье Г. М. Никольского, опубликованной в «Земле и Вселенной», № 6, 1967 г.

для наблюдений дни составляет 1—2". Поэтому наблюдатель должен непрерывно контролировать качество изображения, выбирая для экспозиций относительно редкие моменты спокойных изображений. Эффект дрожания края Солнца хорошо заметен на фотографии спектра (см. вклейку к стр. 25), полученного на гелиоцентрической высоте около 1000 км (1",5). Вдоль направления дисперсии линия H_{α} пересечена полосками непрерывного спектра. Эти полоски образуются отдельными «волнами» солнечного края, проникающими в щель спектрографа. Рассеянный в земной атмосфере и внутри прибора свет создает равномерный фон, интенсивность которого монотонно убывает с удалением от лимба.

Солнечная хромосфера, яркость которой весьма быстро падает с высотой (на высоте 6000 км яркость в сотни раз меньше, чем у лимба) — неоднородное образование. Она состоит из отдельных узких выступов — спикул. Неоднородное строение хромосферы известно, по крайней мере, уже с конца прошлого столетия. Однако всесторонние исследования, в частности спектральные, дающие наиболее полную информацию, начались сравнительно недавно. К настоящему времени установлено, что хромосферные спикулы имеют ширину не более 1", тянутся до высот в 10", обладают лучевыми скоростями (т. е. проекциями полной скорости на луч зрения) в 10—20 км/сек и «живут» около 10—20 минут.

Характерный вид спектра спикул в линии H_{α} на гелиоцентрической высоте около 4000 км показан на вклейке. Отдельные спикулы имеют на фотографии ширину в 1—2", что свидетельствует о хорошем качестве снимков (разрешающая способность коронографа составляет 1"). Спикулы смещены относительно друг друга вдоль направления дисперсии; величина этого смещения пропорциональна их лучевым скоростям. Например, смещение спикулы на 1 мм (на репродукции) внутрь дуги щели означает, что спикула приближается к наблюдателю со скоростью, равной 11 км/сек. Если сделать фотометрический разрез спикулы (по направлению дисперсии), то можно получить профиль спектральной линии, на основе которого оценивают концентрацию и хаотические скорости водородных атомов в спикуле, а также температуру

спикулы. Правда, для этого необходимо привлечь некоторые теоретические соображения или дополнительные данные наблюдений. Сделав ряд последовательных снимков солнечной хромосферы на одной и той же гелиоцентрической высоте (кинематографирование), можно проследить изменение характеристик спикул во времени.

С приближением к краю Солнца число спикул растет. Это отчетливо заметно при сопоставлении двух спектров, относящихся к различным гелиоцентрическим высотам. На фотографии спектра, соответствующего высоте 1000 км, спикулы сливаются, создавая эффект сплошной линии H_{α} . Лишь на краях линии видны «зубчики» — отдельные спикулы, имеющие значительные лучевые скорости. Рост числа спикул с уменьшением гелиоцентрической высоты означает, что спикулы с небольшой протяженностью по высоте встречаются чаще, чем более крупные.

В спектре хромосферы, относящемся к гелиоцентрической высоте 1000 км, заметна узкая эмиссионная линия 6559,6 Å, излучаемая в нижней хромосфере ионизованным титаном. (Возможно, у читателя вызовет недоумение то, что эта линия видна лишь близ середины щели. Однако следует сказать, что радиус кривизны спектральной щели на 2—3 мм больше радиуса изображения Солнца. Поэтому центральная часть щели расположена на меньших гелиоцентрических высотах, чем ее крайние части, и непрерывный спектр, и слабые линии наблюдаются только вблизи середины щели). На оригинальном негативе в окрестностях линии H_{α} , охватывающих участок спектра в 16 Å, видны еще пять слабых линий: 6554,8 Å (?), 6555,4 Å (Si), 6565,5 Å (?), 6569,0 и 6569,3 Å (Fe). Атомы, с излучением которых отождествляются эти линии, указаны в скобках. Подобные линии наблюдаются, как правило, во время полных солнечных затмений.

Разумеется, исследования хромосферных спикул далеко не исчерпывают тех задач, которые можно решать на крупнейшем внезатменном коронографе. Вместе с тем, детальное исследование спикул — необходимый этап на пути к пониманию физической природы солнечной атмосферы в целом, поскольку существование тонкой структуры является, по-видимому, характерным свойством плазмы хромосферы и короны.

Загадка спектрально-двойных звезд

Э. Ф. БРАЖНИКОВА

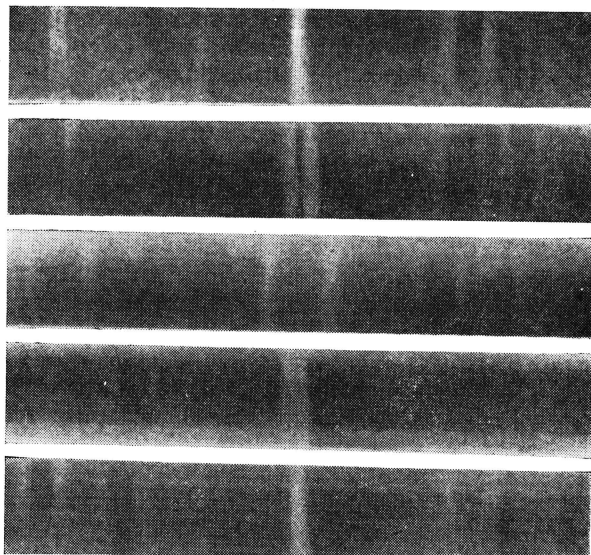
В начале XX века было обнаружено, что орбиты двойных звезд определенным образом ориентированы по отношению к Солнцу. Это явление, подтвержденное автором на новом материале, до сих пор не получило исчерпывающего объяснения.

Двойные звезды, уже давно привлекающие внимание астрономов, замечательны своими физическими свойствами и статистическими закономерностями.

Как известно, двойной звездой называется система, которая состоит из двух звезд, обращающихся вокруг общего центра масс. Каждый из компонентов такой пары движется по эллипсу, в фокусе которого находится другой компонент.

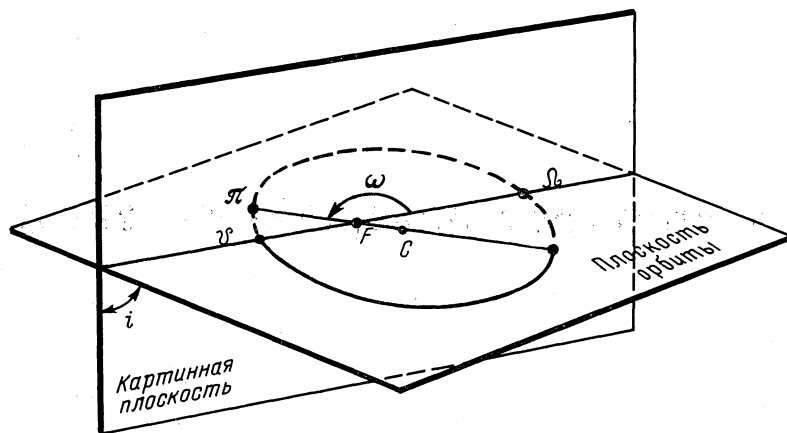
Среднее расстояние между членами звездной пары, равное сумме больших полуосей их орбит, измеряется многими миллионами километров. И все же по сравнению с расстоянием до Земли оно настолько мало (особенно у «тесных» пар), что двойные звезды зачастую невозможно разделить на отдельные компоненты даже в самые мощные телескопы. Факт двойственности таких звезд иногда удается установить по поведению линий в их спектрах, за что они и получили название спектрально-двойных.

Орбитальные скорости компонентов двойных звезд всегда имеют диаметрально противоположные направления, а поэтому линии в их спектрах периодически раздваиваются, смещаясь, согласно принципу Доплера — Физо, к противоположным концам спектра. Если же один из компонентов настолько слаб, что не дает заметного спектра, обнару-



СПЕКТРЫ ЗВЕЗДЫ β Стрелы (негативы). Линии поглощения (светлые на темном фоне) периодически раздваиваются, указывая тем самым, что β Стрелы — двойная звезда

жить двойственность звезды можно по периодическим колебаниям линий яркого компонента.



ЭЛЕМЕНТЫ ОРБИТЫ двойной звезды: π — периастр, ближайшая к фокусу F точка орбиты; C — центр масс двойной системы; a — большая полуось; $e = FC/\pi C$ — эксцентриситет; i — угол наклона плоскости орбиты к картинной плоскости (последняя перпендикулярна лучу зрения); Ω — восходящий узел и ν — нисходящий узел — точки пересечения орбиты картинной плоскостью; ω — долгота периастра — угол, отсчитываемый в направлении движения звезды от восходящего узла до периастра

Существует несколько методов, позволяющих по измеренным в разные моменты времени лучевым скоростям яркого компонента вычислить почти все элементы его орбиты. В частности, сравнительно легко определяются эксцентриситет орбиты и долгота периастра, характеризующие соответственно форму орбиты и ориентацию большой оси в плоскости орбиты.

Изучая свойства двойных звезд, астрономы часто пользуются методами звездной статистики, которые помогают выявить различные корреляции (зависимости) между параметрами орбит компонентов двойных звезд. Например, была открыта зависимость между периодами обращения и эксцентриситетами орбит двойных звезд: орбитам с меньшими эксцентриситетами соответствуют меньшие периоды обращения.

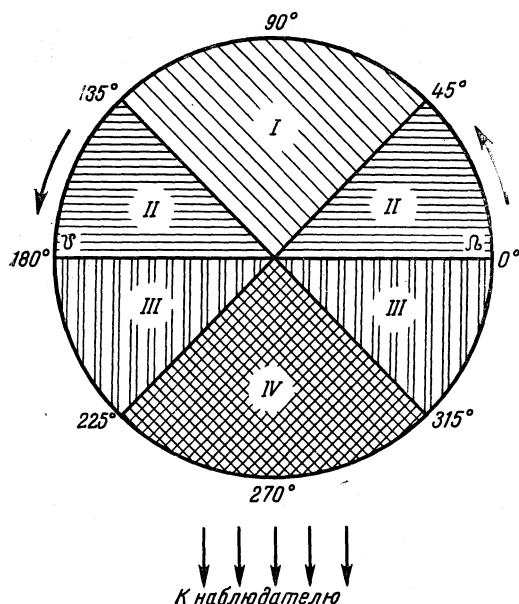
В 1908 г. канадский астроном-любитель Д. Барр обнаружил, что у большинства спектрально-двойных звезд долгота периастра заключена между значениями 0 и 180° , т. е. периастр чаще находится за картинной плоскостью. Иными словами, было установлено, что орбиты этих звезд как бы вытянуты вдоль направления Земля — звезда и что периастры ярких компонентов чаще наблюдаются в наиболее удаленных от Земли точках орбит.

Эффект Барра исследовали многие астрономы. Но наблюдательный материал, которым они располагали, зачастую был довольно немногочисленный. Кстати, и сам эффект был открыт Барром всего лишь по 30 орбитам спектрально-двойных звезд.

В последние годы было определено большое число новых, а также уточнены элементы некоторых старых орбит спектрально-двойных систем. Возникла целесообразность вновь проверить эффект Барра. Это и было сделано в 1965 г. автором статьи под руководством профессора Р. В. Куницкого.

Проверялся эффект по 245 орбитам спектрально-двойных звезд с периодами обращения менее 30 суток. Было условно принято, что плоскости орбит спектрально-двойных звезд во всех случаях проходят через луч зрения Земля — звезда. Чтобы выяснить, расположены ли орбиты звезд хаотически или занимают определенное положение в пространстве, подсчитывалось количество звезд, долгота периастра орбит которых заключена между $45-135^\circ$ (I зона); $0-45^\circ$ и $135-180^\circ$ (II зона); $315-0^\circ$ и $180-225^\circ$ (III зона); $225-315^\circ$ (IV зона).

Оказалось, что в IV зону попадает меньше всего периастров, по остальным же зонам периастры распределились сравнительно равномерно (I — 72, II — 77, III — 60 и IV — 36 периастров). Иными словами, на I и II зоны, лежащие за картинной плоскостью, пришлось 149, а на III и IV зоны, т. е. перед картинной плоскостью, — 96 периастров. Вероятность того, что в интервал $0-180^\circ$ из 245 звезд случайно попадает не менее 149, равна всего лишь $0,07\%$, а значит такое распределение не является случайным. Несколько более заметный эффект концентрации периастров в I и II зонах, т. е. эффект Барра, наблюдается у звезд с периодом обращения, меньшим 10 суток. Зато у звезд с пе-



ЗОНЫ, в которых подсчитывалось число попадающих в них периастров орбит спектрально-двойных звезд. Меньше всего периастров оказалось в IV зоне. За картинной плоскостью ($0-180^\circ$) лежит 149 периастров, перед картинной плоскостью ($180-0^\circ$) — 96, что подтверждает существование эффекта Барра у спектрально-двойных звезд

риодами обращения от 30 до 100 суток (41 звезда) эффект Барра не обнаружен. Интересно, что если разбить все четыре зоны на две части: «левые» — долгота периастра между 90 и 270° и «правые» — долгота периастра между 270 и 450° (90°), то в «левой» части окажется 116 периастров, а в «правой» — 129, т. е. 47 и 53% соответственно. В то же время на I и II зоны приходится 61%, а на III и IV — только 39% периастров орбит тех же спектрально-двойных звезд.

Таким образом, трудно сомневаться в ре-

альности обнаруженной тенденции периастров орбит ярких компонентов спектрально-двойных систем находиться за картинной плоскостью, т. е. в наиболее удаленных от Земли точках своих орбит. Но нельзя и представить (без риска оказаться на позициях геоцентризма), что этот эффект отражает истинное распределение периастров орбит в галактическом пространстве. Большие оси орбит двойных звезд могут иметь какую-то преимущественную ориентацию относительно ядра Галактики, но никак не относительно Земли. Поэтому приходится признать, что эффект Барра, по-видимому, — результат происходящих в звездных парах физических процессов, искажающих кривую лучевых скоростей и вызывающих систематические ошибки в определении элементов орбит компонентов.

В 1948 г. О. Струве, анализируя данные наблюдений спектрально-двойных звезд, пришел к выводу, что тесные пары обычно погружены в газовые оболочки, которые быстро перемещаются в направлении орбитального движения системы. В спектрах тесных двойных звезд линии поглощения, обусловленные такими газовыми потоками, накладываются на линии поглощения самой звезды. Это затрудняет расшифровку спектров и вызывает искажения кривой лучевых скоростей.

Эффект Барра может быть также результатом селекции, приводящей к преимущественному открытию звезд с более далекими периастрами ярких компонентов. Возможно, такая селекция объясняется анизотропией блеска спектрально-двойных звезд. Ведь если по какой-либо причине двум наблюдателям, находящимся в противоположных точках на продолжении большой оси орбиты спектрально-двойной звезды, звезда кажется не одинаково яркой, то, естественно, вероятность открытия такой звезды будет у них различной.

Дальнейшие исследования, несомненно, помогут выяснить истинную природу этого интересного, но пока загадочного феномена.



Почему взрываются сверхновые звезды?

Д. Р. ПАДЁЖИИ
кандидат физико-математических наук

В любой галактике каждые сто лет можно наблюдать сверхновую звезду. Никакими земными масштабами не измерить ту колоссальную энергию, которая выделяется при ее вспышке. Почему же взрываются сверхновые звезды? Ученые пытаются найти причины этого удивительного явления природы, но окончательного ответа на этот вопрос пока не получено.

Появление на небе сверхновых звезд с давних времен привлекало внимание астрономов. Однако лишь усовершенствование телескопов и методов наблюдения, значительный прогресс в области физики и математики, достигнутый за последние три десятилетия, позволили подойти вплотную к пониманию этого поразительного явления в мире звезд.

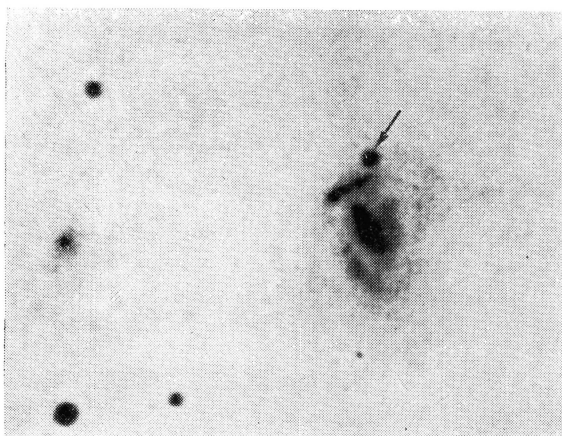
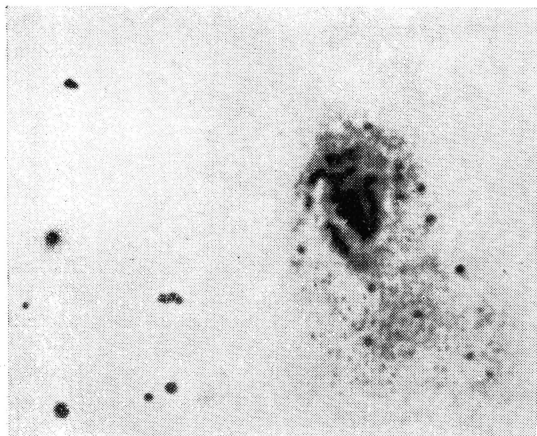
При вспышке сверхновые звезды увеличивают блеск в сотни миллионов раз. В максимуме блеска мощность их излучения достигает 10^{44} эрг/сек, т. е. одна сверхновая звезда светит ярче, чем 10 млрд. звезд, подобных нашему Солнцу. Такое колоссальное излучение длится около 4—5 недель, а потом заметно ослабевает. Наблюдения спектра излучения сверхновых, а также газовых туманностей, возникающих на месте вспышки сверхновой, показывают, что вспышка сопро-

вождается выбросом вещества со сверхзвуковой скоростью.

Очень грубо сверхновые звезды можно подразделить на два типа. Мощность излучения сверхновых I типа немного больше, чем сверхновых II типа. Почти вся энергия сверхновых II типа излучается в ультрафиолетовой области спектра, а сверхновых I типа — в голубой. Сверхновые обоих типов различаются также по количеству и скорости выброшенного вещества. Сверхновые II типа сбрасывают оболочки, масса которых может достигать нескольких солнечных масс, а скорости — 5000—7000 км/сек. Оболочки, сброшенные сверхновыми I типа, имеют массы в несколько раз меньше солнечной, а скорости порядка 1000 км/сек. Большинство данных о сверхновых получено при наблюдении их вспышек в других галактиках. Наблюдения, а также соображения теоретического характера приводят к выводу, что сверхновые II типа возникают как результат взрыва звезд большой массы (10—30 $M_{\odot}$), а сверхновые I типа — звезд средней массы (около 1 $M_{\odot}$).

Чтобы понять, по каким причинам звезда может, потеряв устойчивость, взорваться как сверхновая, рассмотрим вкратце историю жизни звезды. Образовавшаяся при конденса-

ЧАСТЬ ВОЛОКНИСТОЙ ТУМАННОСТИ в созвездии Лебедя. Эта туманность — остаток оболочки, сброшенной сверхновой II типа несколько десятков тысяч лет назад. Туманность расширяется со средней скоростью около 100 км/сек. В момент выброса из звезды скорость оболочки составляла 5000—7000 км/сек



ВСПЫШКА СВЕРХНОВОЙ II типа в галактике NGC 4273, расположенной в созвездии Девы. Фотография слева получена 10 мая 1931 г., а справа — 16 февраля 1936 г. Правый снимок сделан со значительно меньшей выдержкой, и хотя многие детали строения галактики не заметны, сверхновая (отмечена стрелкой) видна отчетливо

ции газа звезда состоит в основном из водорода, гелия и малой примеси более тяжелых элементов. Взаимная сила притяжения вещества звезды уравнивается силами давления, и звезда находится в механическом равновесии. Если масса звезды не очень мала (больше $0,1 M_{\odot}$), то вблизи центра звезды температура оказывается достаточной ($10—20$ млн. $^{\circ}\text{K}$) для начала термоядерных реакций, в процессе которых водород превращается в гелий. (Наше Солнце находится как раз в стадии горения водорода.) Выделяющаяся энергия высвечивается звездой в окружающее пространство. После того как в центральных областях звезды исчерпается весь водород, температура возрастает до $100—200$ млн. $^{\circ}\text{K}$. При такой температуре гелий превращается в углерод и кислород, из которых впоследствии образуются более тяжелые элементы: сера, кремний, фосфор и др. Естественно, что последовательность таких превращений отражается на внутреннем строении звезды. Из более или менее однородной звезды возникает звезда с очень плотной горячей внутренней частью, где происходят термоядерные реакции, и протяженной холодной оболочкой, сохраняющей первоначальный химический состав (в основном водород и гелий).

Выделение энергии в результате термоядерных реакций, протекающих в центральной части звезды, продолжается до тех пор, пока при температуре $3—4$ млрд. $^{\circ}\text{K}$ не обра-

зуются элементы группы железа (железо, никель, кобальт, марганец, хром). Ядра этих элементов наиболее сильно связаны, и переход от них к любым другим элементам (более тяжелым или более легким) происходит не с выделением, а с поглощением энергии. Таким образом, к моменту образования элементов группы железа звезда исчерпывает все ресурсы ядерной энергии, запасенные в ее центральной области. Ясно, что характер эволюции звезды должен при этом резко измениться.

Обычные, спокойно эволюционирующие звезды (в том числе и Солнце) находятся одновременно и в тепловом, и в механическом равновесии. Тепловое равновесие означает, что вся энергия, выделяющаяся при термоядерных реакциях, высвечивается звездой в окружающее пространство. Механическое равновесие — это равновесие между силами тяжести и силами давления. Если бы, например, внутри Солнца внезапно увеличилась скорость выделения ядерной энергии, то под действием избыточного давления Солнце расширилось бы, а температура в его центре понизилась. Можно сказать, что звезда типа Солнца обладает отрицательной теплоемкостью. Это означает, что если в звезде выделяется дополнительная энергия, то температура звезды уменьшается, и наоборот, если энергия излучается, то температура звезды увеличивается. Суть дела в том, что при выделении дополнительной энергии звез-

да изменяет свое внутреннее строение, она расширяется, переходя в новое состояние механического равновесия. В процессе этого перехода звезда вынуждена потратить всю дополнительную энергию на работу против сил тяжести и даже еще «занять» часть энергии из своих внутренних запасов, что и приводит, в конечном счете, к понижению температуры.

Механическое равновесие звезды устойчиво, если при быстром (адиабатическом) сжатии или расширении между силами давления и силой тяжести возникает разница, которая стремится вернуть звезду в первоначальное состояние равновесия. Для определенности будем говорить далее только о сжатии. Если в процессе сжатия силы давления растут быстрее, чем сила тяжести, то, в конечном итоге, силы давления, скомпенсировав возникший вначале избыток силы тяжести, остановят сжатие, и звезда будет механически устойчивой. В противном случае силы давления никогда не смогут стать больше сил тяжести, и сжатие будет неограниченным. Таким образом, для механической устойчивости звезды нужно, чтобы вещество имело упругость, превышающую некоторое критическое значение. (Упругость определяется скоростью роста давления с увеличением плотности вещества.)

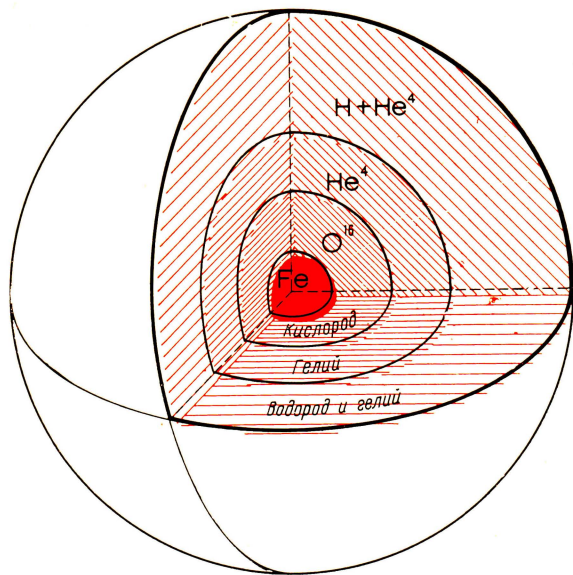
Вернемся теперь к эволюции звезд. Расчеты показывают, что в звездах малой массы (около $1 M_{\odot}$) по мере расходования ядерного горючего вещество становится очень плотным при сравнительно низкой температуре. В этих условиях свойства вещества радикально изменяются: вступает в силу принцип исключения, сформулированный в 1925 г. швейцарским физиком Вольфгангом Паули. Согласно принципу Паули, два электрона не могут находиться в одном и том же квантовом состоянии. Такое вещество называется вырожденным и отличается тем, что его давление и энергия определяются только плотностью вещества и почти не зависят от температуры.

Звезда, состоящая из вырожденного вещества, обладает уже положительной теплоемкостью. Если в такой звезде сохранилось некоторое количество ядерного горючего и если потери тепла путем излучения затруднены, то случайное повышение температуры может привести к усиленному выделению энергии в термоядерных реакциях, что в свою очередь еще больше повысит температуру. Иными словами, тепловое равновесие

звезды может оказаться неустойчивым и произойдет термоядерный взрыв. Термоядерному взрыву может предшествовать потеря механической устойчивости, так как электронам, согласно принципу Паули, «становится тесно» и они «охотно» соединяются с протонами, превращая их в нейтроны. Этот процесс называется нейтронизацией вещества. Нейтронизация способствует уменьшению упругости вещества, которая может стать ниже критического значения. Сжатие, возникшее из-за механической неустойчивости, повышает температуру внешних слоев звезды, где находится ядерное горючее, и тем самым облегчает термоядерный взрыв. В результате термоядерного взрыва должна возникнуть взрывная (ударная) волна, которая выбросит в межзвездное пространство часть массы звезды. Из оставшегося вещества образуется нейтронная звезда — остаток вспышки сверхновой I типа. Такова по современным представлениям качественная картина вспышки сверхновой I типа.

Природа предоставила в наше распоряжение Крабовидную туманность — остаток вспышки сверхновой I типа, произошедшей в Галактике в 1054 г. Крабовидная туманность изучена достаточно хорошо, но, к сожалению, пока не удалось получить прямые наблюдательные доказательства существования внутри Крабовидной туманности нейтронной звезды. По-видимому, методы наблюдений еще слишком грубы.

Более детально разработана теория вспышек сверхновых II типа. Массивные звезды отличаются от звезд малой массы тем, что в их недрах температура значительно выше, а плотность значительно ниже. Непосредственно перед вспышкой сверхновой массивная звезда может состоять из железного ядра, на которое наслаиваются более легкие элементы, например кислород, гелий, водород. Внешний слой звезды, состоящий из водорода и гелия, может совсем отсутствовать, так как не исключено, что звезда теряет значительную часть своей массы на предшествующих стадиях эволюции путем медленного истечения вещества с поверхности. Однако из теории строения звезд следует, что плотность водорода-гелиевого слоя (если он существует) должна быть очень малой по сравнению с плотностью железного ядра звезды. Такой слой слабо влияет на процессы в центральных областях звезды. Что же происходит близ центра массивной звезды после образования элементов группы железа? Оказыва-



СТРОЕНИЕ ЗВЕЗДЫ непосредственно перед вспышкой сверхновой II типа. Полная масса звезды около $30 M_{\odot}$. Центральное ядро состоит из элементов группы железа и имеет массу около $7 M_{\odot}$, масса кислородного слоя около $3 M_{\odot}$, а гелиево-водородного около $20 M_{\odot}$

ется, в центре звезды плотность вещества составляет около $10^7 - 10^8 \text{ г/см}^3$, а температура достигает 4 млрд. $^{\circ}\text{K}$. Физические условия в ядре звезды быстро изменяются под действием потерь энергии при нейтринном излучении.

Существование нейтрино было доказано в 1930 г. В. Паули, но только в 1953 г. американским физикам Ф. Райнесу и К. Коуэну удалось подтвердить существование нейтрино прямым экспериментом*. Нейтрино обладает колоссальной проникающей способностью. Образуясь в центральных областях звезды при взаимодействии электронов и позитронов с ядрами различных элементов, а также при аннигиляции электронно-позитронных пар, нейтрино беспрепятственно покидают звезду и уносят значительную часть энергии. В результате потери энергии в центре звезды относительно быстро увеличивается плотность и температура, так как вещество внутри массивной звезды невырождено, и звезда обладает отрицательной теплоемкостью. Если

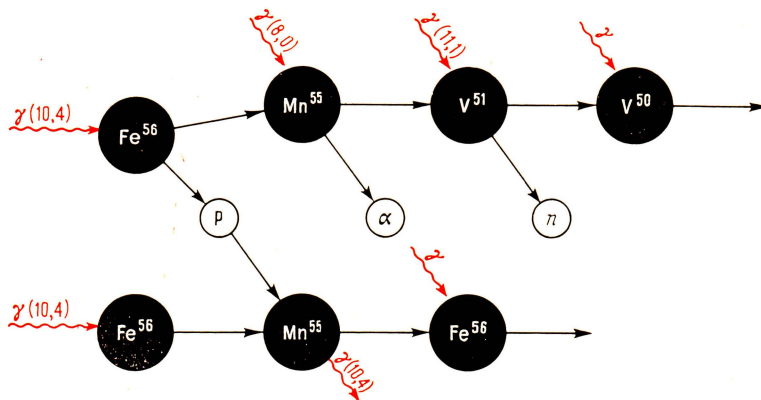
* О свойствах нейтрино, его роли в астрофизике рассказано в статье Ф. Райнеса «Нейтринная астрономия», опубликованной в «Земле и Вселенной», № 4, 1967 г.

на всю предыдущую эволюцию, связанную с превращением водорода в элементы группы железа, звезда массой в $30 M_{\odot}$ тратит несколько миллионов лет, то нейтринная стадия эволюции длится лишь несколько часов. Нагревание центральных областей звезды за это короткое время приводит к механической неустойчивости, вызванной резким понижением упругости вещества звезды. Когда температура повышается, ядра элементов группы железа начинают расщепляться энергичными γ -квантами на протоны, нейтроны и α -частицы (ядра гелия). Такой процесс называется фоторасщеплением.

Фоторасщепление протекает ступенчато: от ядер группы железа последовательно отщепляются протоны, нейтроны и α -частицы. При температуре 6 млрд. $^{\circ}\text{K}$ средняя энергия γ -квантов составляет около $1,5 \text{ Мэв}$, однако, согласно закону Планка, некоторые γ -кванты имеют энергию 10 Мэв и выше. Эти энергичные γ -кванты отщепляют, например, от ядра железа протон, затем от получившегося ядра марганца — α -частицу и т. д. Протон опять может соединиться с ядром марганца и вновь образовать ядро железа. Но чем больше температура, тем меньше остается элементов группы железа и появляется все больше протонов, нейтронов и α -частиц. При еще более высоких температурах на нейтроны и протоны расщепляются и α -частицы. Когда температура превысит 20 млрд. $^{\circ}\text{K}$, вещество состоит уже из одних нейтронов и протонов.

Процесс фоторасщепления сильно понижает упругость вещества. Как только температура достигнет 6 млрд. $^{\circ}\text{K}$ (см. нижний рисунок на странице 35), упругость вещества близ центра звезды станет меньше критического значения. Механическое равновесие центральных областей нарушается — начинается быстрое сжатие. Скорость сжатия все увеличивается, одновременно резко повышается плотность, но температура растет очень медленно, так как почти вся работа, совершаемая силами тяжести, уходит на фоторасщепление элементов группы железа, а небольшая ее часть — на ускорение вещества, падающего к центру звезды. Заметим, что сжатие носит крайне неоднородный характер. Прежде всего сжимается центральная часть с массой около $1 M_{\odot}$. Слои, лежащие выше, практически не успевают изменить свое состояние. В центре звезды образуется быстро уменьшающееся по размерам ядро. Когда температура ядра звезды превысит

ФОТОРАСЩЕПЛЕНИЕ элементов группы железа. В скобках указана энергия в мегаэлектронвольтах, необходимая γ -кванту для отщепления протона (p), нейтрона (n) или α -частицы от ядра соответствующего элемента. Для полного расщепления ядра Fe^{56} на протоны и нейтроны требуется энергия около 490 Мэв



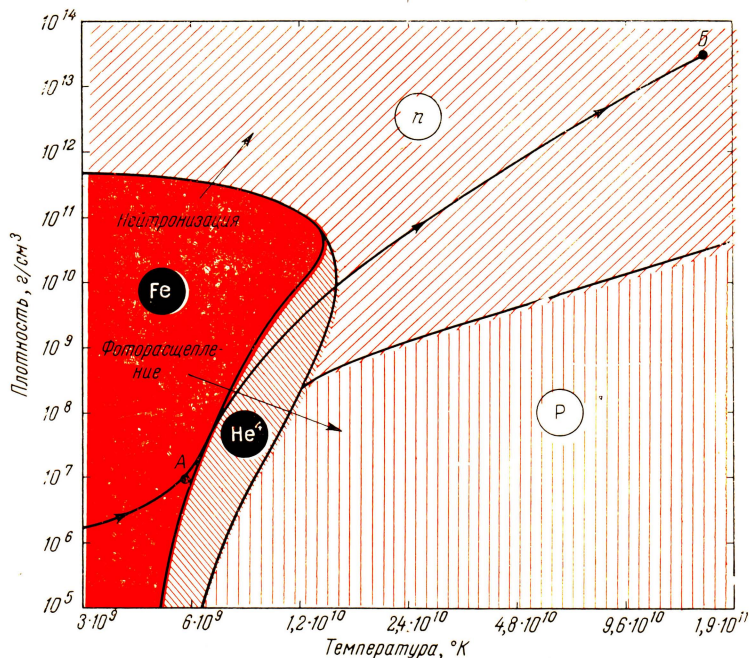
20 млрд. °К, фоторасщепление элементов группы железа заканчивается.

Параллельно с фоторасщеплением идет процесс нейтронизации. Вещество, из которого состоит горячее ядро звезды, почти полностью превращается в нейтроны. Поскольку фоторасщепление прекращается, упругость вещества звезды увеличивается и снова, как и до начала фоторасщепления, становится больше критической. Но силы давления по-прежнему не в состоянии затормозить сжатие. Так как потери энергии нейтринным излучением сильно возрастают, ядро звезды

вынуждено быстро сжиматься, чтобы компенсировать эти потери работой гравитационных сил. Мощность нейтринного излучения* достигает величины $3 \cdot 10^{53}$ эрг/сек. Когда плотность ядра повысится до $10^{12} - 10^{13}$ г/см³ (температура около 100—200 млрд. °К), оно становится непрозрачным для нейтрино. Это

* Одновременно с нейтрино излучается и его античастица — антинейтрино. По порядку величины нейтрино и антинейтрино уносят одинаковое количество энергии. Говоря о нейтрино, мы везде подразумеваем суммарный эффект, производимый нейтрино и антинейтрино.

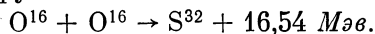
ДИАГРАММА ПЛОТНОСТЬ — ТЕМПЕРАТУРА с указанием областей преимущественной концентрации элементов группы железа, гелия, нейтронов и протонов. АБ — линия, изображающая состояние центра звезды при вспышке сверхновой II типа: А — соответствует потере механической устойчивости; Б — положение центра звезды в момент, когда центральная часть звезды становится непрозрачной для нейтрино



означает, что нейтрино, излученное в одном месте ядра, поглотится в другом. Нейтрино не сразу покидают звезду, а сравнительно медленно просачиваются сквозь вещество. Ясно, что при этом скорость потерь энергии начинает уменьшаться. И вот тут-то силам давления удастся затормозить или, по крайней мере, очень сильно замедлить сжатие ядра. Весь процесс сжатия ядра звезды длится очень короткое время — около двух секунд, а последняя стадия, сопровождаемая мощным излучением нейтрино, — десятки доли секунды.

Если бы мы наблюдали за сверхновой звездой одновременно в оптический и нейтринный телескопы, то в оптический телескоп мы бы не заметили никаких изменений, а в нейтринный увидели мощный всплеск излучения продолжительностью около 0,1 секунды. За это короткое время звезда излучает в виде нейтрино около 10^{52} эрг. Только через некоторое время после появления предвестника вспышки сверхновой — всплеска нейтринного излучения — мы бы наблюдали в оптических лучах обычную картину вспышки сверхновой звезды, являющуюся следствием дальнейших событий внутри звезды.

Внешние слои начинают падать на ядро, сжатие которого прекратилось. В первую очередь падают ближайшие слои, состоящие из элементов группы железа с общей массой около $6 M_{\odot}$. Падение сопровождается сжатием и нагревом. Как только наступает очередь кислородного слоя, общая масса которого $3 M_{\odot}$, температура этого слоя повышается почти до 3 млрд. $^{\circ}\text{K}$, и начинается быстрое сгорание (взрыв) кислорода с превращением его в серу:



Выделение большого количества энергии в этой реакции (около $3 \cdot 10^{51}$ эрг для всего кислородного слоя) приводит к возникновению взрывной (ударной) волны, которая распространяется к поверхности звезды. Выходом этой волны в поверхностные слои объясняется наблюдаемый эффект оптической вспышки сверхновой звезды и выброс оболочки.

Количественные расчеты показывают, что в основном энергия ударной волны тратится на преодоление силы тяжести при подъеме вещества к поверхности звезды. Теоретический подсчет энергии взрыва сверхновой II типа дает величину около $3 \cdot 10^{50}$ эрг; наблюдаемая энергия взрыва, оцениваемая как сум-

ма кинетической энергии сброшенной оболочки и энергии, излученной в виде света за все время вспышки, достигает 10^{52} эрг. Таким образом, теоретически рассчитанный взрыв сверхновой II типа несколько слабее наблюдаемого.

По мнению американских астрофизиков С. Колгейта и Р. Уайта, основной причиной образования ударной волны является не взрыв кислорода, а перенос энергии от сжимающегося ядра в промежуточные слои звезды высокоэнергичными нейтрино. Чем выше энергия нейтрино, тем они легче поглощаются веществом. Поэтому высокоэнергичные нейтрино могут служить эффективными переносчиками энергии от сжимающегося ядра наружу и могут повысить энергию ударной волны до требуемой величины. Однако расчет такого процесса довольно сложен, и до сих пор еще не получены уверенные количественные результаты. Поистине, было бы очень приятно убедиться, что вспышки сверхновых II типа являются космическим доказательством существования «неуловимой» частицы нейтрино.

Остатком вспышки сверхновой II типа, по-видимому, должна быть сверхплотная горячая звезда с массой, в несколько раз превышающей солнечную. Такая звезда, согласно общей теории относительности, не может находиться в стационарном состоянии и должна, в конце концов, перейти в состояние неограниченного сжатия (коллапса).

Теория взрывов сверхновых звезд только начинает свое развитие. Лишь в последнее время появилась возможность с помощью быстродействующих вычислительных машин теоретически рассчитать сжатие звезды. Объем расчетов при этом оказался столь велик, что вычислительной машине, выполняющей десятки тысяч операций в секунду, потребовались десятки часов для завершения всего комплекса расчетов, начиная от потери механической устойчивости и кончая выбросом оболочки. Многие предпосылки теории вспышек сверхновых могут претерпеть существенные изменения; многие нерешенные вопросы ждут своих исследователей. Тем не менее, во вспышках сверхновых звезд нет ничего таинственного. Несомненно, все необходимое для понимания принципиальных сторон этого явления природы уже получено современной физикой, астрономией и математикой.

Марс. Чем сложена его поверхность?

О. Н. РЖИГА
кандидат технических наук

Первые межпланетные станции уже совершили рейс к загадочному Марсу. В будущем в путешествие к этой планете отправится и человек. Как же выглядит поверхность, на которую опустится его космический корабль! Скорее всего, это песчаная пустыня, переходящая в пологие горы. Именно таким представляется марсианский ландшафт по данным недавних радиолокационных наблюдений Марса и исследованиям температуры его поверхности.

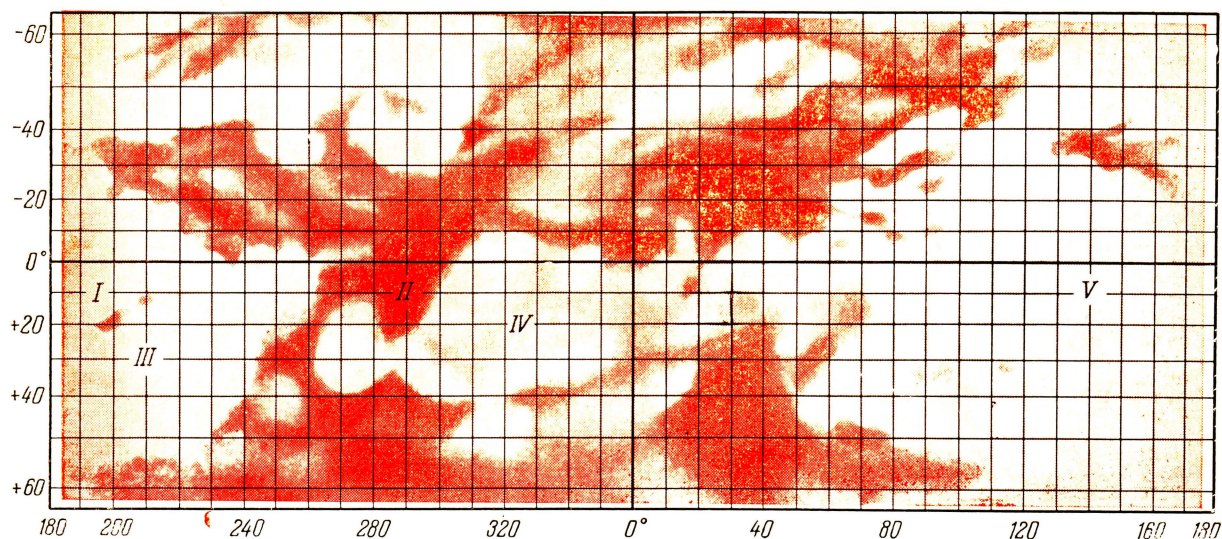
В телескоп с достаточно большим увеличением хорошо видны темные и светлые области на диске Марса. По аналогии с земной поверхностью светлые области получили название материков, за темными укоренилось название морей, хотя, как теперь известно, в марсианских «морях» нет ни капли воды.

Светлые области занимают $\frac{3}{4}$ поверхности Марса, и их однородная оранжевая окраска обуславливает характерный красноватый оттенок планеты. На Марсе часто наблюдаются похожие на пылевые бури желтые облака, которые иногда закрывают почти всю планету. Специфический цвет и периодическое возникновение пылевых бурь дали повод некоторым исследователям считать светлые области Марса песчаными пустынями.

Советский астрофизик В. В. Шаронов, сравнивая яркость и цвет марсианской поверхности и различных земных минералов и горных пород, пришел к выводу, что поверхность светлых областей Марса сложена порошкообразным лимонитом (разновидность бурого железняка $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) или песчаной пылью, сильно окрашенной лимонитом в красно-оранжевый цвет.

Гипотезу о лимонитном составе марсианской поверхности раньше В. В. Шаронова высказал известный французский астроном О. Дольфюс на основе многолетних исследований поляризационных свойств поверхности Марса. Полученные Дольфюсом кривые, представляющие изменение поляризации светлых областей Марса в зависимости от фазового угла (угол между направлениями на Солнце и наблюдателя), хорошо соответствуют только лимониту в сильно раздробленном состоянии.

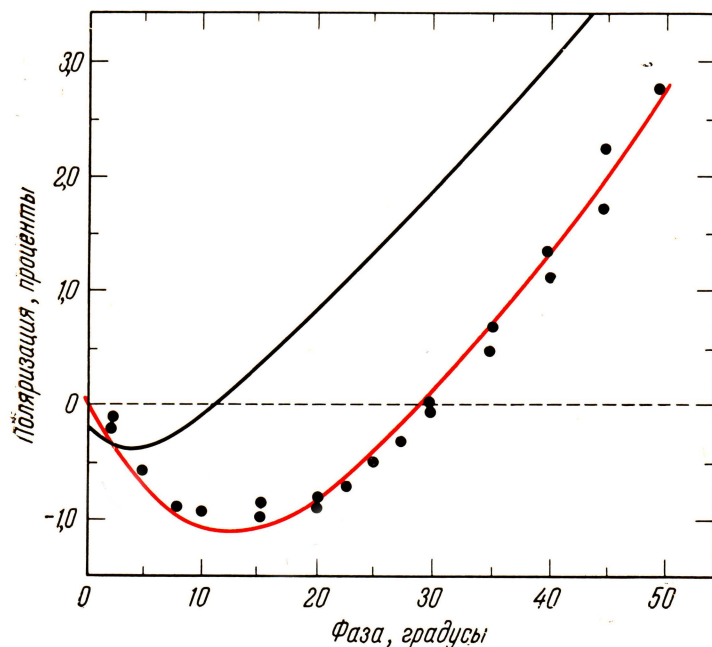
Еще одно свидетельство в пользу лимонитного состава марсианской поверхности было получено методом инфракрасной спектроскопии. Советский астрофизик В. И. Мороз исследовал изменение отражательной способности Марса в зависимости от длины волны. (Заметим, что отражательную способность вещества численно характеризуют коэффициентом отражения, который показывает, какая доля энергии волн, падающих перпендикулярно плоской поверхности, отражается обратно.) Оказалось, что кривые отражательной способности Марса и лимонита круто поднимаются в области спектра от 0,5 до



КАРТА ПЛАНЕТЫ МАРС, составленная де Моттони: I—Trivium Charontis; II—Syrtis Major; III—Elysi-um; IV—Arabia; V—Amasonis. Север, как принято в наблюдательной астрономии, находится внизу

1,0 мк и у обеих кривых имеется полоса с низкой отражательной способностью между 2,5 и 3,0 мк. Такая полоса наблюдается в спектрах тех минералов, которые, как и лимонит, содержат кристаллизационную воду.

Итак, оптические наблюдения показывают, что лимонит широко распространен на Марсе. Если это соответствует действительности, то возникает вопрос, почему же его там так много?



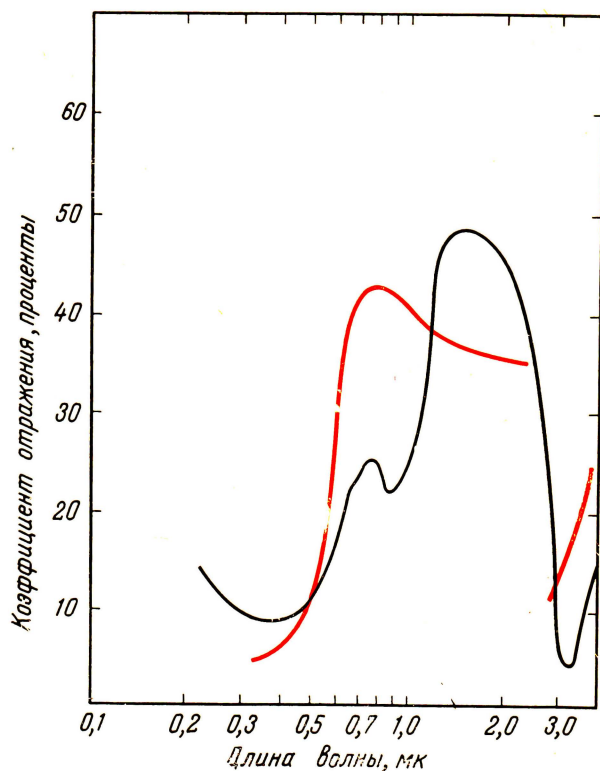
ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ КРИВЫЕ светлых областей Марса (красная линия), измельченного лимонита (кружки) и кварцевого песка (сплошная черная линия). Совпадение поляризационных кривых светлых областей и лимонита привели О. Дольфюса к выводу о лимонитном составе поверхности Марса

В земной коре содержится всего 2% железа, которое, соединяясь с кислородом и водой, образует лимонит. Согласно одной из гипотез, почти все железо на Земле в настоящее время сосредоточено в ядре, ибо удельный вес железа гораздо больше, чем силикатов. О внутреннем строении Марса почти ничего не известно. Однако есть основания предполагать, что на Марсе процесс разделения элементов под действием силы тяжести зашел не так далеко, как на Земле, и в поверхностных породах осталось больше железа. На другую возможность концентрации железа на поверхности Марса указал астроном Э. Эпик. Он считает, что источником повышенного содержания железа на поверхности этой планеты могут быть метеориты, поскольку орбита Марса проходит в непосредственной близости от пояса астероидов — основного поставщика метеоритов.

Оптические наблюдения Марса можно интерпретировать и по-другому, если предположить, что лимонит создает лишь видимую окраску марсианской поверхности, обволакивая тонкой пленкой зёрна какого-то другого вещества. Такое предположение было высказано, в частности, некоторыми американскими геологами. По их мнению, для образования больших масс лимонита на Марсе ни сейчас, ни в прошлом не было достаточного количества воды.

Известно, что земная кора сложена в основном силикатами (соединениями кремния). Не исключено, что силикаты преобладают и на поверхности Марса. Климат Марса очень сухой, и образующиеся в процессе выветривания частицы силикатов и лимонита не подвергаются цементации и не превращаются в глины, как это происходит на Земле. Сильные ветры, дующие на Марсе, перемешивают продукты выветривания, а также вызывают интенсивное истирание частиц лимонита, который имеет значительно меньшую твердость, чем силикаты. Лимонитная пыль, обладающая высокой красящей способностью, обволакивает более крупные зерна силикатов, что и определяет цвет и поляризационные свойства поверхности Марса.

Характерная особенность кривой распределения яркости кристаллических силикатов в инфракрасной области спектра — глубокий минимум вблизи длины волны 9 мк. Кажется бы, это явление можно использовать для проверки наличия силикатов на Марсе. Но в инфракрасном спектре планеты, получен-



ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ в зависимости от длины волны для Марса (красная линия) и лимонита. Обе кривые круто поднимаются в области спектра от 0,5 до 1,0 мк, обе имеют полосу с низкой отражательной способностью между 2,5 и 3,0 мк. Такое соответствие в ходе кривых также свидетельствует о том, что поверхность Марса сложена лимонитом

ном американскими астрофизиками У. Синтоном и Дж. Стронгом в 1954 г., такой минимум не наблюдался. Поэтому они заключили, что содержание силикатов на поверхности Марса не превышает 20%. Однако недавно американские исследователи Р. Ван-Тассель и Дж. Солсбери провели измерения инфракрасных спектров некоторых силикатных порошков. Оказалось, что характерный для кристаллических силикатов минимум близ 9 мк с уменьшением размера зерен сглаживается, а для очень тонкой пыли и совсем исчезает.

Следовательно, спектральные измерения в инфракрасной области (как и наблюдения в видимых лучах) не позволяют однозначно установить, из чего же в основном состоит покров Марса.

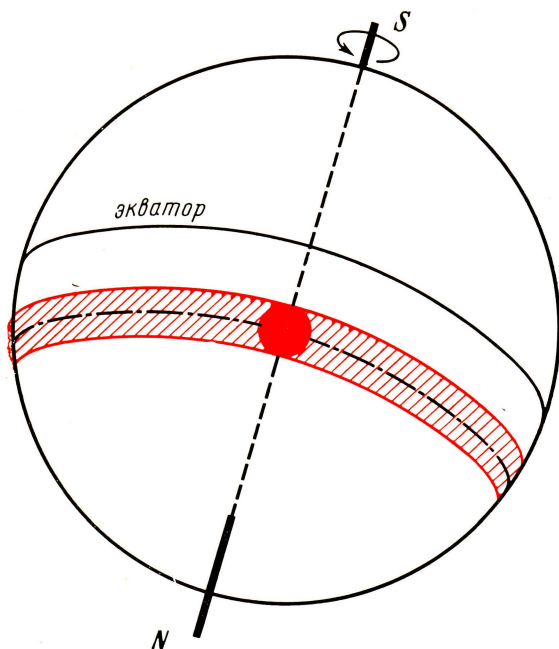


СХЕМА ОТРАЖЕНИЯ РАДИОВОЛН ОТ МАРСА. Зеркальное отражение радиоволн дает «яркий блик» вблизи центра планетного диска. Благодаря вращению планеты, через «яркий блик» проходят области Марса, отмеченные штриховкой

Автор предлагаемой статьи попытался определить вещество марсианской поверхности, используя радиолокационные данные об отражательной способности Марса и результаты измерения суточного хода температуры. Исследования отражательной способности для радиоволн и температурного режима поверхности позволяют подойти к интересующему нас вопросу совершенно по-новому, поскольку отражение радиоволн и температурный режим зависят от электрических и тепловых свойств вещества в сравнительно толстом слое.

Первые радиолокационные наблюдения Марса были проведены во время противостояния 1963 г. одновременно в Советском Союзе (на длине волны 40 см) и Соединенных Штатах Америки (12,5 см). Уже эти наблюдения показали, что основное зеркальное отражение радиоволн («яркий блик») происходит от небольшой зоны близ центра планетного диска*. Благодаря вращению планеты через центральную зону, создающую «яркий блик», во время наблюдений проходи-

* Вспомните яркие точки и блики на выпуклых полированных предметах.

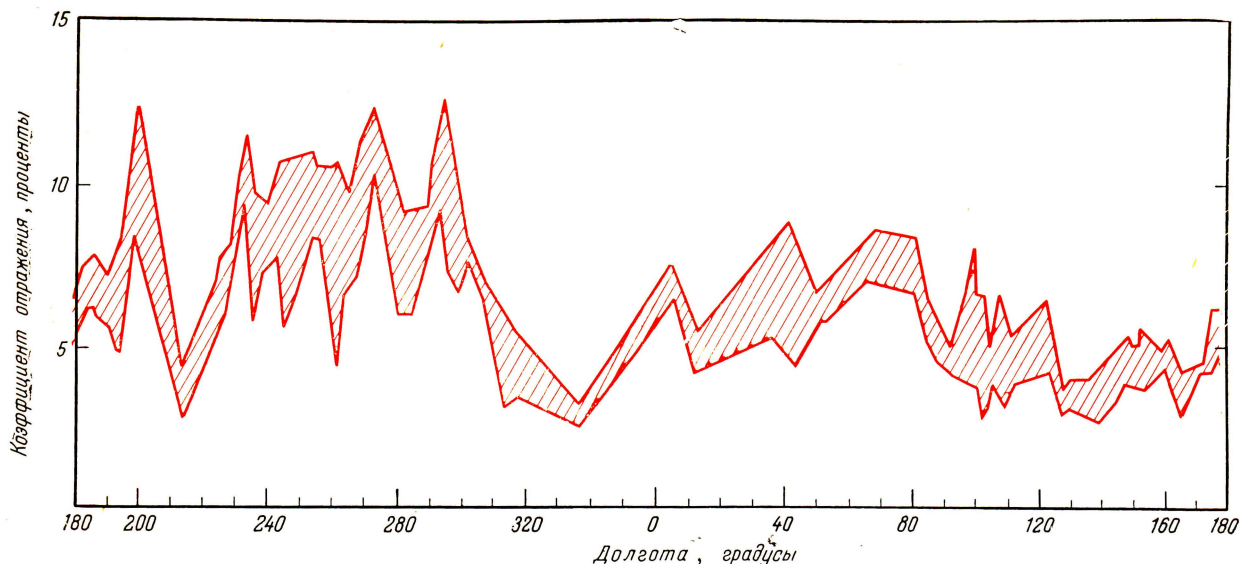
ли различные области, и можно было сравнить их отражательную способность. Оказалось, что отражательная способность темных областей планеты в радиодиапазоне выше, чем светлых.

Более полные данные об отражательной способности Марса были получены американскими исследователями Г. Петтенгилом и Р. Дайсом в 1965 г. Для своих наблюдений они использовали 300-метровый радиотелескоп Ионосферной обсерватории в Аресибо (Пуэрто-Рико). Радиолокатор работал на длине волны 70 см. Во время наблюдений 1965 г. «яркий блик» при вращении планеты перемещался по параллели 20° северной марсианской широты. Именно вдоль этой параллели Петтенгилу и Дайсу удалось составить карту изменения отражательной способности Марса. Сравнивая эту карту с картой планеты Марс, можно заметить, что наибольшую величину коэффициента отражения радиоволн, 12%, имеют темные области Syrtis Major и Trivium Charontis. Коэффициент отражения светлых областей значительно меньше, и в районах Amasonis, Elysium, Arabia не превышает 3—4%.

Коэффициент отражения радиоволн определяется электрическими характеристиками вещества (диэлектрической и магнитной проницаемостью, электропроводностью) и зависит от длины волны. Только для идеальных диэлектриков, к свойствам которых в радиодиапазоне приближаются земные силикаты в сухом состоянии, эта зависимость отсутствует.

Средняя величина коэффициента отражения Марса по измерениям в СССР и США, проводившимся на различных длинах волн, получилась примерно одинаковой. Следовательно, можно полагать, что вещество марсианской поверхности является хорошим диэлектриком. Темные области Марса в радиодиапазоне имеют примерно ту же отражательную способность (12%), что и земные скальные породы. На Земле плотность этих пород около 2,5 г/см³. Низкая величина отражательной способности светлых областей (3—4%) является, по-видимому, следствием пористости вещества, покрывающего эти области.

Советский радиофизик В. Д. Кротиков установил зависимость диэлектрической проницаемости (а значит, коэффициента отражения) земных силикатов от плотности (пористости) вещества. Проведав измерения с



КАРТА ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ Марса на длине волны 70 см для широты $+20^\circ$. Сравнивая эту карту с картой планеты Марс, можно заметить, что наибольшую величину коэффициента отражения имеют темные области. Коэффициент отражения светлых областей значительно меньше

большим количеством горных пород (гранит, базальт, туф, пемза, кварцевый песок и др.), он обнаружил, что эта зависимость для различных силикатов практически одинакова. Если воспользоваться этой зависимостью, то окажется, что плотность вещества светлых областей на Марсе должна составлять $0,8\text{--}1,0 \text{ г/см}^3$. Решить, в каком состоянии находится вещество светлых областей — в сыпучем (в виде песчаной пыли) или в твердом пористом состоянии (песчаник, пемза), — поможет изучение тепловых свойств марсианской поверхности, поскольку они зависят от состояния вещества.

Утром поверхность Марса начинает нагреваться Солнцем. В полдень или несколько позже температура ее достигает максимального значения, а к вечеру поверхность постепенно остывает. Величина максимального нагрева поверхности и запаздывание максимума температуры относительно полудня зависят от так называемой тепловой инерции вещества, которая определяется теплопроводностью, теплоемкостью и плотностью вещества.

Изменение температуры поверхности Марса тщательно исследовалось Синтоном и Стронгом в 1954 г. Они измеряли температуру термомпарой, помещенной в фокусе

5-метрового телескопа Паломарской обсерватории. Отраженный солнечный свет устранялся специальным светофильтром, который пропускал только длинноволновое собственное излучение планеты. По запаздыванию максимума температуры относительно полудня Синтон и Стронг получили наиболее вероятную величину тепловой инерции для Марса, равную 0,004. Тепловая инерция скальных пород на Земле значительно больше — около 0,1.

Величины тепловой инерции кварцевого песка и песчаника, имеющих разную структуру, но одинаковый химический состав, приведены в таблице. Тепловая инерция песка сильно зависит от внешнего атмосферного давления, так как молекулы воздуха участвуют в теплообмене между отдельными песчинками. При составлении таблицы было учтено, что плотность атмосферы на Марсе в 25—100 раз меньше, чем на Земле.

Первая строка таблицы относится к сплошной породе, тепловая инерция которой имеет максимальное значение. С увеличением пористости вещества (с уменьшением плотности) тепловая инерция уменьшается, но для песка и песчаника по-разному. Как следует из таблицы, тепловая инерция светлых областей марсиан-

**ТЕПЛОВАЯ ИНЕРЦИЯ ПЕСКА И ПЕСЧАНИКА
В УСЛОВИЯХ МАРСА**

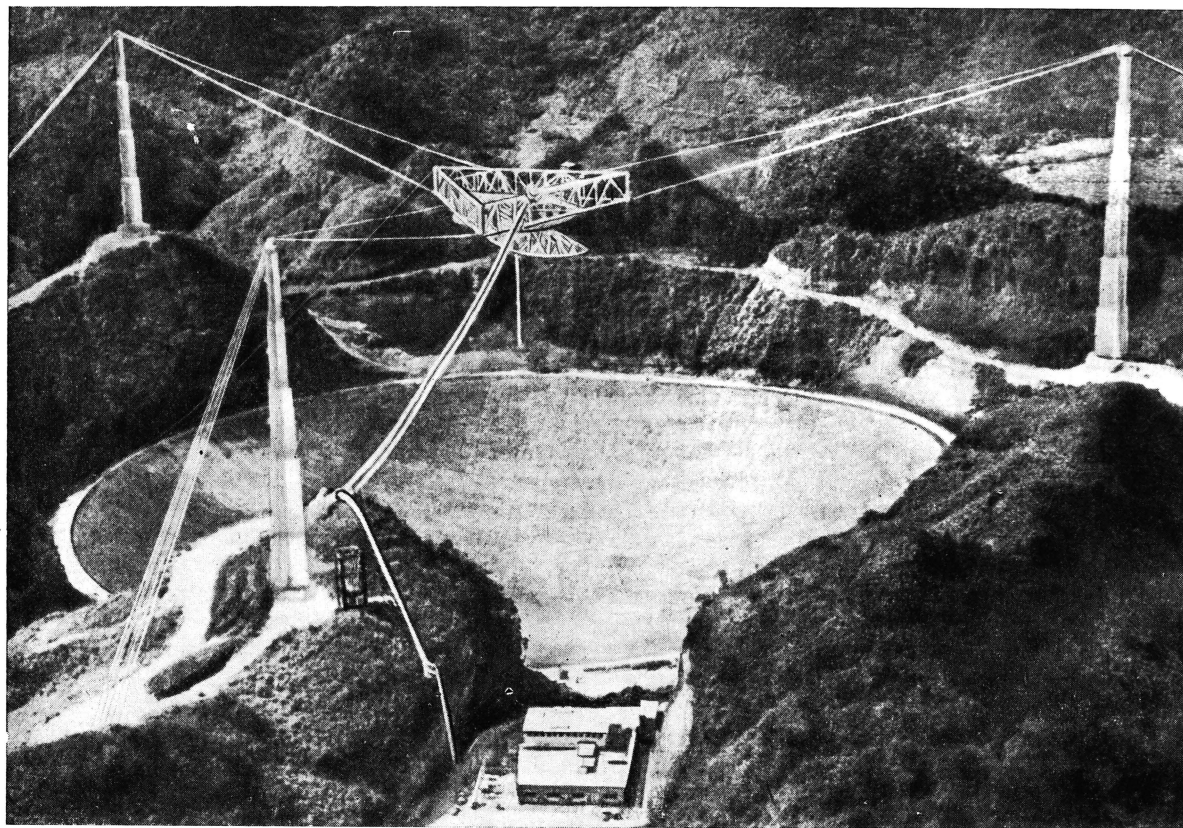
Плотность, г/см ³	Величина тепловой инерции	
	Песок	Песчаник
2,5	0,10	0,40
2,0	0,013	0,052
1,0	0,0045	0,016
0,5	—	0,0045

ской поверхности (0,004) соответствует песку плотностью 1,0 г/см³. Напомним, что та же величина плотности для светлых областей была независимо получена по радиолокационным данным.

Тепловая инерция песчаника в условиях пониженного давления на Марсе в среднем

в 3,5 раза выше, чем песка той же плотности. Поэтому величине тепловой инерции светлых областей марсианской поверхности соответствует лишь очень пористый песчаник, плотностью 0,5 г/см³ (в 2 раза легче воды). Примечательно, что $\frac{4}{5}$ объема в таком материале были бы заняты пустотами. Силикатный материал плотностью 0,5 г/см³ имел бы коэффициент отражения порядка 1%. Однако ни в одном из районов Марса, исследовавшихся на длине волны 70 см, такое низкое значение коэффициента отражения не было отмечено.

Таким образом, совместное изучение данных об отражательной способности и тепловом режиме поверхности Марса приводят к выводу о том, что вещество светлых областей находится в пылеобразном состоянии. В земных условиях плотность



РАДИОТЕЛЕСКОП ИОНОСФЕРНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ АРЕСИБО (Пуэрто-Рико), использовавшийся для радиолокационных наблюдений Марса. Диаметр зеркала — 300 м

$1,0 \text{ г/см}^3$ можно получить только при очень высокой степени измельчения песка. Средний размер зерен оказывается порядка нескольких микрон. Эта очень мелкая пыль даже в условиях разреженной марсианской атмосферы может в течение нескольких недель находиться во взвешенном состоянии, создавая те желтые туманы и пылевые бури, которые иногда скрывают от нас поверхность Марса.

Поскольку на Марсе отсутствует влага, продукты разрушения коренных пород не подвергаются цементации, а следовательно, пылевой покров может иметь значительную глубину. Автор оценил глубину пылевого покрова на основании данных о собственном радиоизлучении планеты. Оказалось, что в районах Amasonis, Elysium, Arabia она достигает, по крайней мере, нескольких метров.



РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ ГАЛАКТИК В СКОПЛЕНИИ ПЕРСЕЯ

В скоплении галактик созвездия Персея, удаленном от нас на расстоянии около 170 млн. световых лет, находятся несколько очень интересных радиоисточников. Самый мощный из них связан с сейфертовской галактикой NGC 1275. Напомним, что сейфертовские галактики — это гигантские спиральные системы, в ядрах которых происходят очень бурные, взрывные процессы, сопровождающиеся выбросом газа, а часто и выбросом большого количества энергичных частиц — протонов и электронов.

С ядром галактики NGC 1275, как оказалось, связан очень компактный радиоисточник размером около 20 световых лет. Кроме него в той же области расположен совсем «крошечный», но яркий (в радиолучах) источник

размером около светового года. Энергия релятивистских частиц, вылетающих из этого источника, составляет, по крайней мере, $3 \cdot 10^{52} \text{ эрг}$, причем эти частицы получили свою энергию за время не более 1 года. Для сравнения укажем, что все сотни миллиардов звезд нашей Галактики выделяют энергию примерно таким же темпом. Исследования показывают, что интенсивное энерговыделение ядра галактики NGC 1275 продолжается уже несколько миллионов лет. Если источником энергии служат частые вспышки сверхновых звезд, то полное число взорвавшихся в течение этого времени звезд должно достигнуть нескольких десятков миллионов.

Установлено взаимодействие между сейфертовской галактикой

и двумя другими, также входящими в это скопление, галактиками, удаленными от нее на расстоянии около 2 тыс. световых лет. В окрестностях этих галактик происходит генерация радиоволн, вызванная потоком быстрых частиц, летящих от сейфертовской галактики. Поэтому области, где образуются радиоволны, вытянуты в направлении от NGC 1275.

Слабое радиоизлучение рождается и в пространстве между галактиками. Интересно, что в скоплении галактик в Персее существует один довольно яркий радиоисточник с угловым размером менее $10''$, на месте которого не обнаружено никакой галактики.

«Monthly Notices of Royal Astronomical Society», 138, 1, 1968.

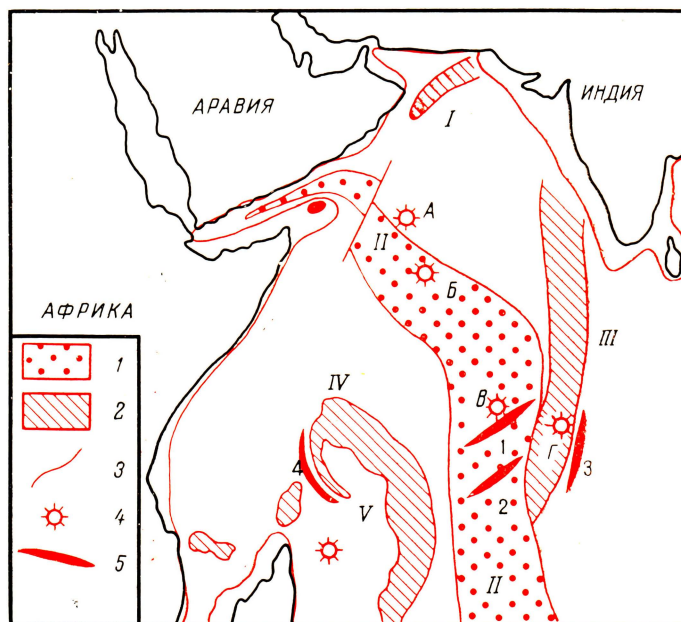
«Академик Курчатов» в Индийском океане

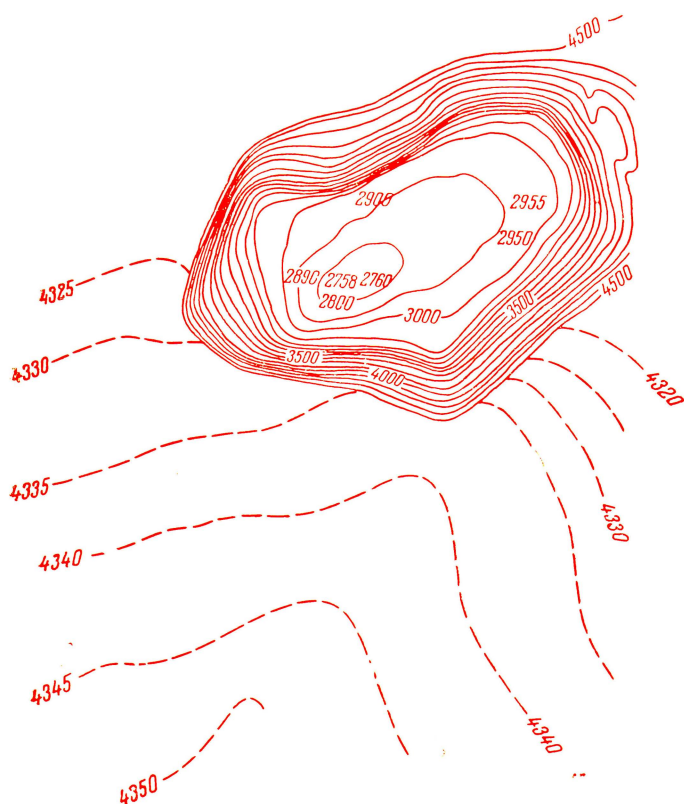
В. Ф. КАНАЕВ
кандидат географических наук

В апреле 1967 г. научно-исследовательское судно «Академик Курчатов» вышло из Севастополя во второй рейс. Рано утром 15 апреля у западного берега острова Сокотра в Красном море состоялась торжественная

встреча с ветераном советского научно-исследовательского флота — прославленным «Витязем», совершавшим 41-й рейс. Отсюда оба корабля начали совместные геолого-геофизические исследования в северо-западной части

ОТКРЫТИЯ, сделанные научно-исследовательскими судами «Академик Курчатов» и «Витязь» в северо-западной части Индийского океана. На схеме показаны: 1 — срединно-океанический хребет; 2 — прочие хребты и горные массивы; 3 — подножие материкового склона; 4 — подводные горы; 5 — желоба. Подводные хребты: I — Меррея; II — Аравийско-Индийский; III — Мальдивский; IV — Маккаренский; V — Амирантский. Подводные горы: А — МГУ (наименьшая глубина 2758 м), Б — Вернадского (1715 м), В — Курчатова (1657 м), Г — банка «Академика Курчатова» (104 м). Подводные желоба: 1 — «Витязя» (наибольшая глубина 5544 м — «Академик Курчатов», 1967 г.); 2 — Вима (6492 м — «Академик Курчатов», 1967 г.); 3 — Чагос (5408 м — «Витязь», 1960 г.); 4 — Амирантский (5349 м)





«ГОРА МГУ», батиметрическая схема. Наименьшая глубина над вершиной горы 2758 м. Подножие располагается на глубине 4292—4338 м. Таким образом, относительная высота горы — 1580 м

Индийского океана*. Геологов и геофизиков привлекала осевая, так называемая рифтовая зона Аравийско-Индийского хребта.

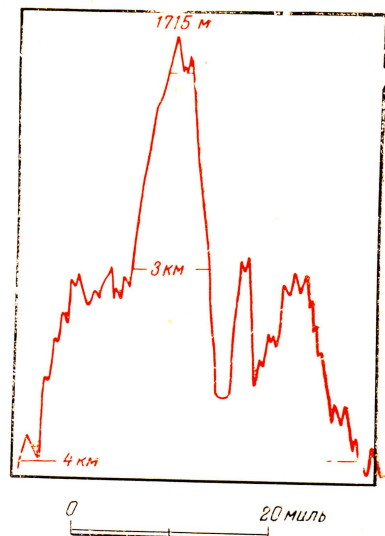
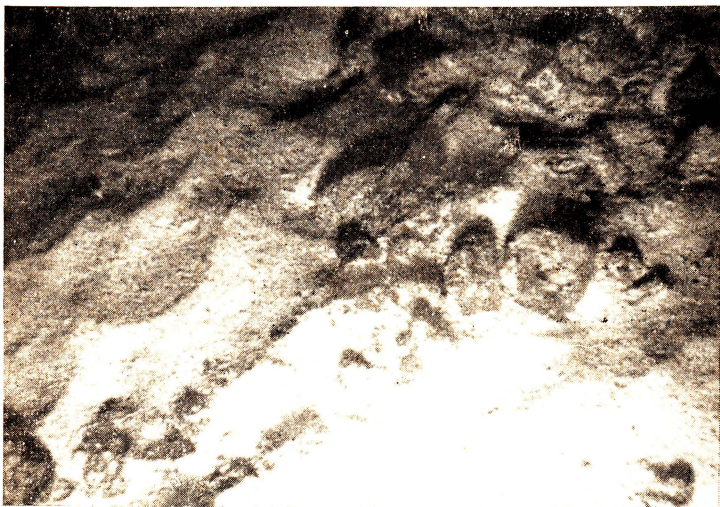
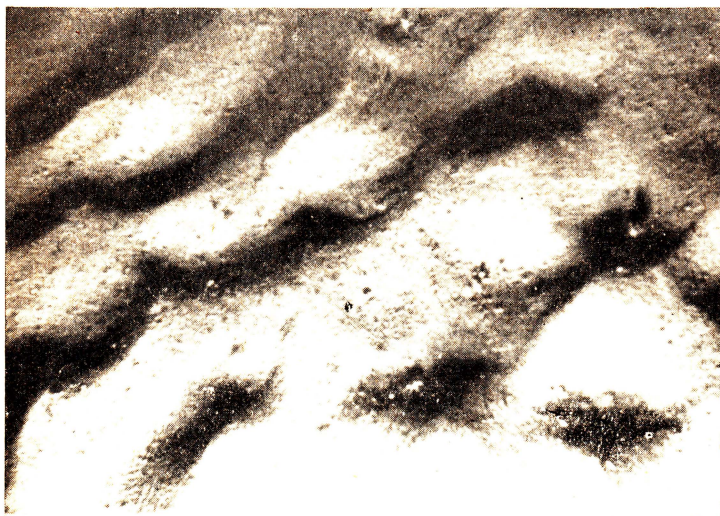
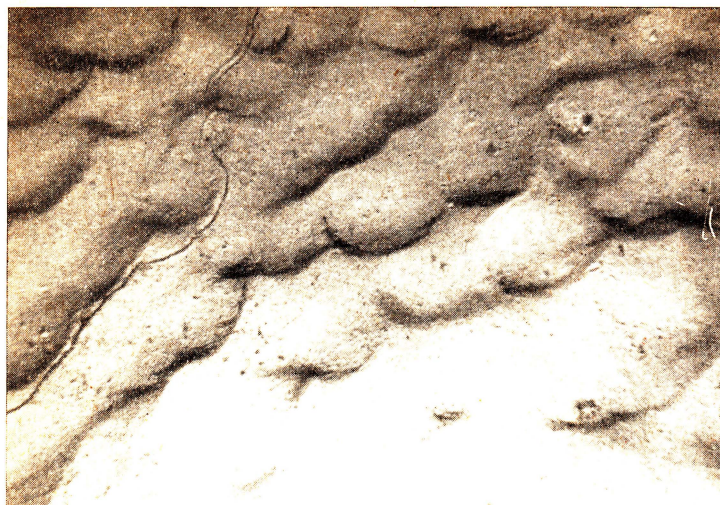
Через все океаны Земли простираются широкие поднятия дна — подводные хребты. Аравийско-Индийский хребет является северной ветвью большой системы Срединных-Индоокеанских хребтов. Поверхность подводных хребтов, как правило, сильно расчленена: то вдоль, то под углом к оси, то поперек хребта, чередуясь, сменяют друг друга короткие гряды и ущелья. А у самой оси хребтов обычно располагается наиболее глубокая депрессия — рифтовая долина или ущелье, окаймленное высокими рифтовыми хребтами. Осевая зона срединно-океанических хребтов отличается не только расчлененностью рельефа. Много здесь и других геолого-геофизических особен-

ностей: повышенная сейсмическая активность, интенсивный поток тепла из недр Земли, выходы глубинных ультраосновных пород — вот что удалось установить в результате кропотливых и детальных исследований.

Высокую тектоническую активность осевой зоны геологи объясняют процессами в верхней мантии Земли, которые, вероятно, связаны с подъемом и внедрением глубинного вещества в земную кору. Благодаря внедрению глубинного вещества здесь образовался особый тип земной коры — «мозаика», которая сложена чередующимися блоками океанической коры и блоками глубинных пород мантии. Так как рифтовые зоны распространены по всему земному шару, Г. Б. Удинцев* выделяет их в качестве одной из основных структур и называет эту структуру **георифтогеналью**.

* А. А. Аксенов, Г. Б. Удинцев. Экспедиция «Витязя» и «Академика Курчатова». «Вестник АН СССР», № 10, 1967 г.

* Геоморфология и тектоника дна. «Развитие наук о Земле в СССР». М., 1967 г.



«ГОРА ВЕРНАДСКОГО», профиль (вертикальный масштаб крупнее горизонтального в 37 раз)

НА ВЕРШИНЕ «Горы Вернадского» подводной фотокамерой конструкции ИОАН СССР удалось получить снимки дна (глубина 2000 м). Фотокамера спускалась с дрейфующего корабля «Витязь». Расстояние между снятыми участками — несколько десятков метров; площадь каждого участка около 2 м². На всех photographиях хорошо видна рябь высотой 10—20 см, образовавшаяся в результате сильных придонных движений воды. На первом снимке в верхнем левом углу заметен след донного животного, на нижнем — обломки коренных пород, свалившихся с вершины горы

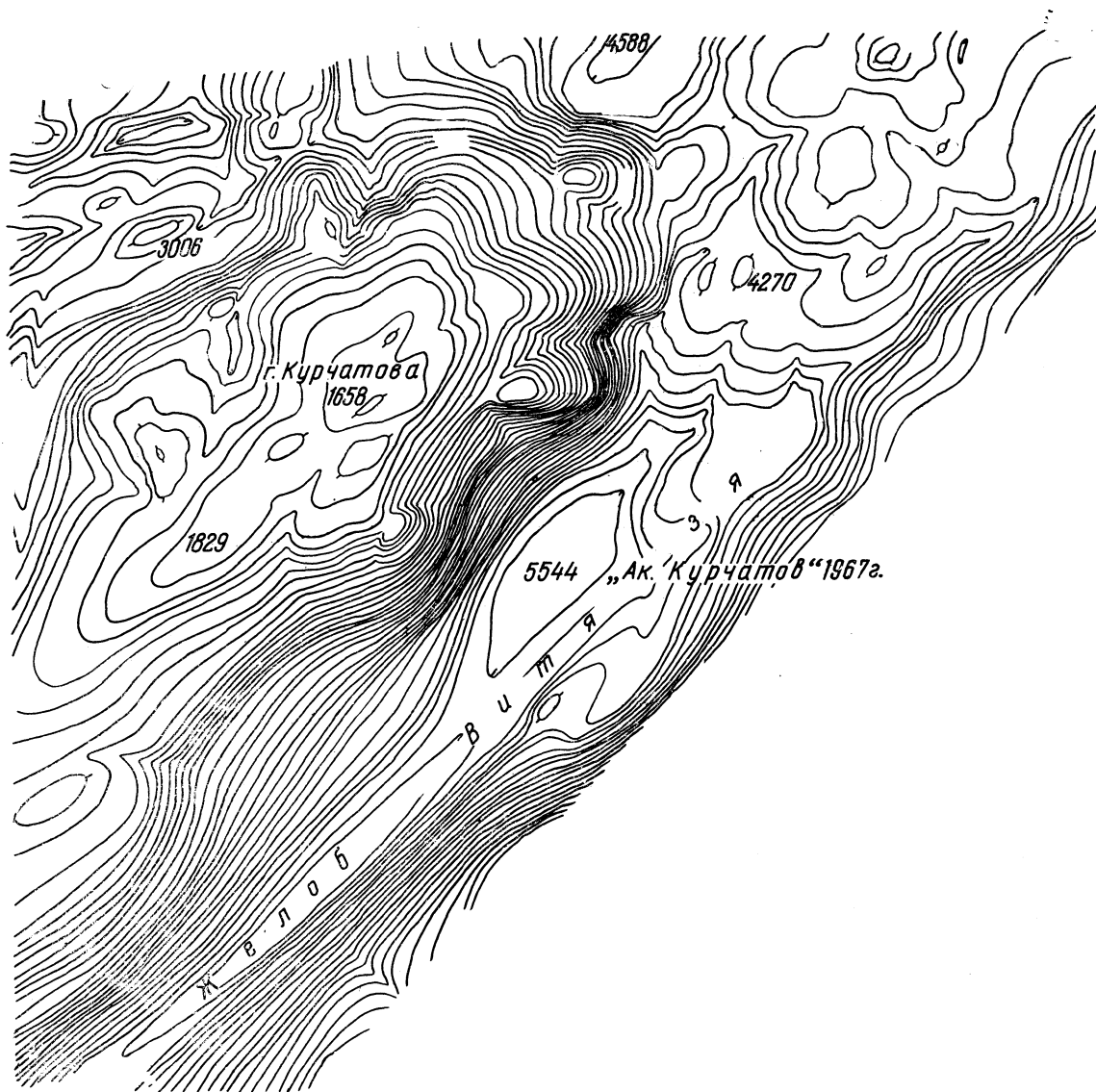
Фото В. А. Седельникова

Индийский океан, особенно его северо-западная часть, радует геологов возможностью стать первооткрывателями; он таит еще никем не исследованные новые формы подводного рельефа. Особенно много «подводных» открытий было сделано в период проведения Международной индоокеанской экспедиции.

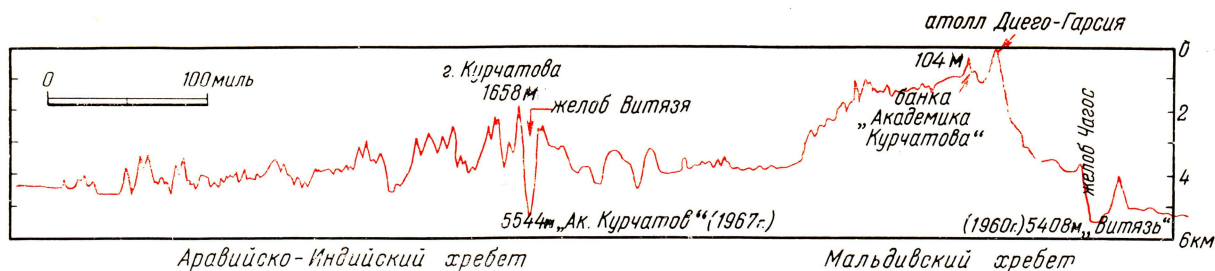
Англичане на судах «Оуэн», «Дискавери» и других восточнее острова Сокотра выявили несколько подводных гор и крупную зону разлома (разлом Оуэн). Американская экспедиция на судне «Вима» обнаружила в рифтовой зоне Аравийско-Индийского хреб-

та, к юго-западу от архипелага Чагос, глубокое рифтовое ущелье (желоб Вима). Несколько новых форм подводного рельефа открыли здесь советские экспедиции на «Витязе» (желоба Витязя, Чагос и Амирантский; гора Бардина и др.)

«Академик Курчатов» начинал свои работы в хорошо изученном районе Индийского океана, что, естественно, уменьшало вероятность новых открытий. Тем не менее и этой экспедиции удалось впервые обследовать несколько новых форм подводного рельефа и измерить новые глубины.



ГОРА КУРЧАТОВА и желоб Витязя (батиметрическая схема)



ПРОФИЛЬ Аравийско-Индийского и Мальдивского хребта

Первое открытие было сделано в Аравийской котловине. Оказалось, что на ее ровном дне возвышается гора — массивное поднятие дна с крутыми (до $30-40^\circ$) склонами. Вершина горы имеет слегка выпуклую, местами плоскую или волнистую поверхность размером 5×9 миль. Судя по морфологии горы (большой крутизне и прямому профилю скло-

нов, плоской вершинной поверхности), она имеет глыбовое происхождение. Участники экспедиции предложили назвать эту гору в честь Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова «горой МГУ».

На небольшом участке рифтовой зоны (в северной части Аравийско-Индийского хребта) в результате очень подробных исследо-



НА СИЛЬНО РАСЧЛЕ-
ННОЙ ПОВЕРХНО-
СТИ Аравийско-Индий-
ского хребта широко рас-
пространены выходы ко-
ренных пород. Пониже-
ния коренного рельефа
обычно заполнены рых-
лыми осадками. На фото-
графиях представлена
одна из вершин хребта
(глубина 2600 м), распо-
ложенная в 550 км к
юго-востоку от горы Вер-
надского

Фото В. А. Седельникова

ваний было обнаружено несколько крупных рифтовых хребтов. Вершину одного из них впервые «увидел» эхолот «Витязя» в 33-м рейсе, а экспедиция на «Академике Курчатове» выполнила ее подробное обследование. Здесь были собраны многочисленные образцы глубинных ультраосновных пород, представляющих большой научный интерес для геохимиков. Было предложено назвать вершину «горой Вернадского» в честь выдающегося ученого-геохимика — академика В. И. Вернадского.

В 36-м рейсе «Витязя» была выполнена очень детальная съемка подводного рельефа участка к западу от архипелага Чагос. Так на карте появился «желоб Витязя» — глубокое рифтовое ущелье, окаймленное хребтами. В совместной экспедиции двух кораблей исследования этого участка были продолжены, и изученная площадь дна значительно увеличилась.

В настоящее время хребет, расположенный с северо-западной стороны желоба Витязя, представляет один из немногих подробно и всесторонне обследованных хребтов рифтовой зоны Индийского океана. Вершину этого хребта (наименьшая глубина 1658 м) предложено назвать в честь известного ученого-физика, академика И. В. Курчатова «горой Курчатова». Во время работ в желобе Витязя «Академик Курчатов» измерил новую максимальную глубину этого желоба, равную 5544 м. Как принято, глубину желоба назвали в честь измерившего ее корабля «глубиной «Академика Курчатова».

Новая максимальная глубина была измерена и в желобе Вима. Этот желоб, как же-

лоб Витязя, оказался тоже глубоким рифтовым ущельем Аравийско-Индийского хребта, расположенным под углом 45° к общему простиранию. Такое необычное кулисообразное расположение основных структурных элементов срединно-океанического хребта можно отнести к характерной особенности южного окончания Аравийско-Индийского хребта*. Во время драгировок и тралений на самом дне желоба Вима была измерена глубина в 6492 м, которая является также и наибольшей глубиной всей северо-западной части Индийского океана.

Еще одно открытие ожидало экспедицию в районе Мальдивского хребта. Это крупное поднятие дна богато подводными горами, которые увенчаны коралловыми рифами. Там, где рифы поднимаются из воды, много коралловых островов и атоллов. В 18 милях к северо-западу от атолла Диего-Гарсия была открыта еще одна гора. Основание горы диаметром около 10 миль находится на глубине 1000 м, а вершина — на глубине 104 м. Изолированные поднятия дна обычно называют «банками». И вершину новой горы решили назвать «банкой «Академика Курчатова».

Таким образом, уже первые плавания научно-исследовательского корабля Института океанологии АН СССР «Академик Курчатов» завершились несколькими географическими открытиями в Индийском океане, а на батиметрических картах появятся новые русские географические названия.

* Рельеф дна Индийского океана. Из книги «Рельеф Земли». М., 1967 г.



НОВОЕ ОБ ОКЕАНИЧЕСКОМ ДНЕ

Закончилась экспедиция «Нова», организованная Скриппсовским океанографическим институтом. В течение восьми месяцев два научно-исследовательских судна работали в центральном и северо-западном районах Тихого океана.

Профессор Генри У. Менард —

руководитель экспедиции — сообщил о новых формах подводного рельефа, открытых и обследованных участниками. Вдоль цепи подводных вулканов, к востоку от берегов Австралии, окаймляя поднятие Лорд-Хау, на 600 миль протянулась полоса донных осадков. Исследования пока-

зали, что осадки состоят преимущественно из микроскопических ископаемых, возраст которых оказался более 15 млн. лет. Удивительным было и то, что все вершины подводных вулканов погружены на одну и ту же глубину — 300 м. Для района поднятия Лорд-Хау характерны круговороты придонных течений. В результате такой циркуляции осадочные породы размываются и обнажаются коренные породы,

образцы которых были взяты для определения возраста.

Подводное плато Фиджи оказалось более высоким, чем предполагалось до сих пор. Г. У. Менард объясняет этот факт вздыманием мантии Земли, значительной толщиной коры и большой мощностью илистых осадков в этом районе. Здесь же был измерен сильный тепловой поток от дна, который вдвое превышал обычный. К западу от архипелага Фиджи участники экспедиции обнаружили многочисленные узкие и глубокие подводные ущелья, окаймленные хребтами. Ущелья простираются в длину до 500 миль и отличаются от прилегающих участков высокой сейсмической активностью. Генри У. Менард предполагает, что в этом районе, вероятно, происходит «расширение» морского дна, аналогичное тому, которое, по мнению некоторых геологов, наблюдается и в Атлантическом океане, вдоль Срединно-Атлантического хребта.

«Geotimes», 13, 2, 1968.

НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАЧ

Международный союз теле-связи на специальных радиочастотах будет передавать океанографические и метеорологические данные с судов, метеобуев, спутников и прибрежных станций. Информация будет содержать данные о скорости и направлении ветра, видимости, барометрическом давлении, температуре, волнах, содержании кислорода в воде, солености, освещенности, тепловом потоке и распространении звуковых волн.

Обязательное использование этих частот с указанными целями начнется с 1 апреля 1969 г.

«Ocean Industry», 3, 1, 1968.



НОВОЕ О ПУЛЬСАРАХ

Продолжающиеся исследования пульсаров, об открытии которых сообщалось в № 3 журнала за 1968 г., приносят новые сведения об этих удивительных объектах. Известно, что пульсар в созвездии Лисички (он получил обозначение CP 1919) отождествлен со звездой 18^m. С более слабой звездой отождествлен (правда, с меньшей надежностью) пульсар (CP 0950), находящийся в созвездии Льва. Однако до последнего времени не было уверенности в том, что совпадение координат звезды и импульсного радиисточника не является случайностью.

На 2,6-метровом телескопе Крымской астрофизической обсерватории В. Ф. Есипов, В. И. Проник и К. К. Чуваев получили с помощью электронно-оптического преобразователя спектр звезды, отождествляемой с пульсаром CP 1919. В спектре звезды не обнаружено ничего необычного. Спектральное распределение энергии соответствует классу K или M (температура поверхности около 4000°K). Линии отсутствуют или имеют ширину меньше 10 Å. И все же звезда оказалась необычной. На обсерватории Кит Пик (США) было открыто импульсное излучение этой звезды в оптическом диапазоне с периодом, вдвое большим, чем в радиодиапазоне. Амплитуда импульсов составляет 4% от общего блеска звезды. Это свидетельствует о физической связи звезды, наблюдаемой в оптическом диапазоне, с радиопульсаром.

Член-корреспондент АН СССР И. С. Шкловский указал, что звезда, отождествленная с пульсаром, не может быть объектом типа белого карлика, с которыми теоретики пытаются связать из-

лучение пульсаров. В самом деле, звезда, согласно измерениям, не имеет заметного собственного движения. Это означает, что она либо находится достаточно далеко (на расстоянии больше сотни парсек), либо вектор ее скорости направлен на нас с точностью до 1°. Последнее предположение маловероятно. Абсолютная звездная величина звезды, соответствующая расстоянию в сотни парсек, должна быть порядка +8^m, а радиус звезды, если температура ее поверхности равна 4000°K, — больше 10¹⁰ см. Типичные же белые карлики имеют абсолютную звездную величину 10^m—15^m и радиус около 10⁸ см. Скорее всего, звезда является субкарликом. От карликовых звезд главной последовательности субкарлики отличаются тем, что содержание металлов в них примерно в 100 раз меньше. Этим, по-видимому, и объясняется отсутствие линий металлов в спектре звезды. Водородные же линии в спектре звезды не наблюдаются вследствие ее низкой температуры. Однако странные свойства пульсара вряд ли могут принадлежать столь ординарной звезде. Вероятно, это — двойная система, состоящая из субкарлика и собственно пульсара. Чтобы орбитальное движение пульсара не вызывало заметного изменения периода импульсов из-за эффекта Доплера, радиус его орбиты должен быть больше 300 а. е.

Радиоизлучение пульсаров исследовалось в широком диапазоне длин волн. В настоящее время самая короткая волна, на которой наблюдались пульсары, равна 13 см. У трех пульсаров, имеющих сложные импульсы, интенсивность радиоизлучения резко падает в сантиметровом диа-

пазоне. Пульсар CP 0950, излучающий одиночный импульс с периодом 0,25 секунды, имеет почти плоский спектр без завала на коротких волнах. У этого пульсара обнаружили, наряду с основным импульсом, слабый (амплитуда его в 70 раз меньше амплитуды основного импульса) «спутник», появляющийся на 100 миллисекунд раньше основного импульса.

Чрезвычайно интересный результат дали поляризационные измерения, выполненные группой английских радиоастрономов в Джодрелл Бэнк. Излучение пульсара CP 0950 оказалось практически полностью линейно поляризованным. Для других пульсаров, импульсы которых состоят из нескольких подимпульсов, картина более сложная: излучение каждого подимпульса также полностью поляризовано, но плоскости поляризации у каждого подимпульса различны и хаотически меняются от импульса к импульсу. Исследования, проведенные группой Ф. Дрейка на 300-метровом телескопе в Аресибо, указывают на более сложный характер поляризации радиоизлучения пульсаров: поляризация эллиптическая, но степень эллиптичности изменяется от полной линейной до полной круговой.

Наблюдения пульсаров позволяют исследовать ряд важных свойств межзвездной среды, в частности, определить концентрацию электронов и величину магнитного поля, которые ранее получали только косвенными методами. Различие в скорости распространения в межзвездном пространстве радиоволн разной длины приводит к запаздыванию во времени импульсов, принимаемых на разных частотах. По наблюдаемому запаздыванию можно определить величину $\bar{n}_e L$, где L — расстояние до пульсара, а $\bar{n}_e$ — средняя концентрация электронов. К сожалению,

расстояние до пульсара можно только очень грубо оценить, поэтому удается получить лишь ориентировочную величину концентрации электронов в межзвездной среде, равную приблизительно $0,03 \text{ см}^{-3}$. Интересно отметить, что $\bar{n}_e L$ для двух пульсаров, лежащих недалеко от галактической плоскости (галактические широты 4° и 20°), в 10 раз больше, чем для пульсаров, расположенных в высоких галактических широтах, т. е. электронная концентрация в плоскости Галактики в несколько десятков раз выше, чем в ее короне.

Но, пожалуй, самое ценное, что удалось сделать, исследуя пульсары, это — измерить галактическое магнитное поле. В плазме с магнитным полем наблюдается «эффект Фарадея», т. е. плоскость поляризации линейно поляризованного радиоизлучения поворачивается на угол, пропорциональный $\bar{n}_e L \cdot H / \lambda$, где H — средняя величина магнитного поля вдоль луча зрения. Так как $\bar{n}_e L$ для пульсара известно, то можно найти и величину магнитного поля, проводя поляризационные наблюдения на разных частотах. Пока это сделано только для пульсара CP 0950, поляризационные измерения которого наиболее просты. Оказалось, что магнитное поле в направлении на этот пульсар не превосходит $2 \cdot 10^{-7} \text{ гс}$, что раз в 50 меньше среднего поля Галактики, принятого до сих пор на основании теоретических оценок и косвенных наблюдений. Впрочем, противоречия здесь нет. Дело в том, что почти в направлении на пульсар CP 0950 магнитное поле Галактики должно менять знак, так что суммарный эффект поворота плоскости поляризации близок к нулю.

Пульсары, вероятно, играют важную роль в космических процессах. По оценке И. С. Шкловского, их число в Галактике мо-

жет быть равным 10^6 . Если их радиоизлучение связано с движением частиц большой энергии в магнитном поле, то пульсары могут быть основными поставщиками космических лучей и релятивистских электронов.

В. А. СОГЛАСНОВ

ОРГАНИЗАЦИЯ СЕКЦИИ НАУК О ЗЕМЛЕ

6 марта 1968 г. общее собрание Академии наук СССР заслушало сообщение вице-президента Академии наук СССР академика А. П. Виноградова об организации Секции наук о Земле.

А. П. Виноградов указал, что в результате работы геологов Советский Союз в отличие от многих высокоразвитых капиталистических государств полностью обеспечен собственными ресурсами минерального сырья. В течение ближайших 10—15 лет в нашей стране должна быть увеличена добыча всех видов полезных ископаемых в среднем в три—четыре раза. При этом исследование придется проводить все глубже в недрах земной коры, поскольку легко открываемые приповерхностные месторождения в основном выявлены. Потребуется научный прогноз на глубины более чем в один—два километра. Возникают новые кардинальные задачи, требующие широкого моделирования геологических процессов и экспериментальных исследований.

Новые проблемы возникают и в других науках о Земле. Например, в океанологии — изучение глубин океана; в физике атмосферы — спутниковая метеорология; в географии — проблемы прогноза влияния человеческой деятельности на природу.

Учитывая, что необходимо обеспечить дальнейшее развитие комплекса наук о Земле, Президиум Академии наук СССР предложил преобразовать Отделение наук о Земле в Секцию наук о Земле.

Новая Секция Президиума Академии наук СССР, решение о создании которой утвердило Общее собрание Академии наук СССР, состоит из двух отделений: одно по геологии, геофизике и геохимии; другое — по океанологии, физике атмосферы и географии.

«Вестник Академии наук СССР», 5, 1968.

АВАЧИНСКИЙ ВУЛКАН

Е. Ф. МАЛЕЕВ

доктор геолого-минералогических наук

В 30 км от г. Петропавловска-Камчатского расположен один из красивейших вулканов — Авачинский (2741 м над уровнем моря). Местные жители называют его просто Авача. У Авачи очень интересная геологическая история.

Авачинский вулкан существует много тысячелетий. Первый, очень бурный этап его деятельности завершился катастрофическим взрывом, который произошел около пяти тысяч лет назад. Этот древний взрыв по характеру можно сравнить с современным извержением вулкана Безымянного в 1956 г., когда огромные массы пепла (высота столба 40 км!), застилая небо, достигли берегов Англии. Но Авачинский взрыв был сильнее: вершина вулкана разрушилась и понизилась, по всей вероятности, на километр, а раскаленный обломочный материал покрыл территорию в 200 км².

В течение последующих столетий спокойной вулканической деятельности в результате выбросов пепла и излияний лавы в центре древнего вулкана, подобно знаменитому Везувию, вырос новый, молодой вулкан. Такой тип вулканов называется сомма-везувий. (Соммой римляне называли кольцевую оторочку древнего Везувия.)

Первые сведения о сильном пепловом извержении Авачи относятся к 1737 г. Многолетние наблюдения помогли установить некоторую закономерность: извержения вулкана происходят с промежутками от 6 до 23 лет.

Как же они выглядят? Из кратера вулкана выбрасываются раскаленные обломки и большие глыбы подпластичной лавы. По свидетельству А. Сильницкого (1901 г.), «...от жерла кратера и до подошвы лились огненные потоки лавы... то широкие, подобно реке, то узкие, подобно ручейку, они бороз-

дили сопку по всем направлениям» *. Во время извержения 6 марта 1938 г. раскаленная лава расплавила огромные массы снега, и талые воды устремились в Халактырскую долину, изменив русло реки.

Иногда из кратера вулкана изливается жидкая лава, как это было в 1827, 1909, 1926 и 1938 годах. Сейчас на конусе Авачинского вулкана насчитывают около 15 лавовых потоков, мощностью слоя до 10 м и протяженностью до 4 км. Но эти потоки никогда не выходили за пределы крутых склонов сопки.

Последний раз извержение Авачи произошло в 1945 г. Семь часов подряд из кратера выбрасывались шлак и пепел. В осевой зоне пепловой тучи задолго до заката солнца наступила непроглядная мгла. Воздух был так сильно наэлектризован, что на концах движущихся острых предметов возникали бледно-синие вспышки, напоминающие пламя спиртовки. Вероятно, в ближайшее время красавица Авача опять напомнит о себе, но можно полагать, что это будет очередное извержение, не угрожающее катастрофой.

Из последствий вулканических извержений люди издавна научились извлекать пользу. Пемза, шлак, вулканический песок и туфы широко применяются в строительстве; вулканические пеплы служат естественным удобрением, а такие полезные ископаемые, как каолин, минеральные краски и другие, используются в самых различных областях производства.

Как же используются продукты извержений Авачинского вулкана? Агломерат древней и современной лавы успешно применя-

* А. Сильницкий. Поездки в Северные округи Приморской области. Записки Приамурского отдела Русск. геогр. об-ва, 1902, 6, вып. 1.



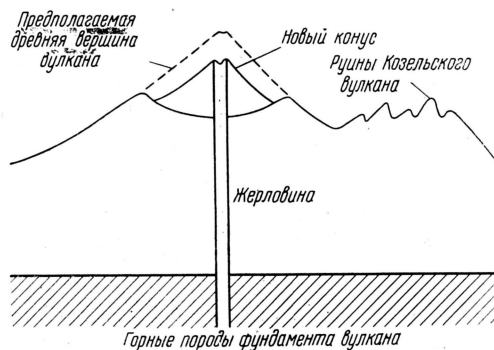
ВЫБРОС ГАЗОВ из кратера Авачинского вулкана в августе 1960 г.

Фото автора

ют на стройках Петропавловска-Камчатского. В районе Козельской сопки добываются шлаки, слой которых после извержения 1945 г. достиг 70 см. В верховьях реки Халактырки образовались залежи пемзы, которую тоже используют как строительный материал.

С глубокими корнями вулкана связано формирование термальных источников: Банных, Налычева и других, которые в ближайшее время будут использоваться не только для создания парникового хозяйства и в курортных целях, но и для освещения и отопления Петропавловска-Камчатского, а также других населенных пунктов.

В кратере Авачи происходят сложные химические процессы, в результате которых образуются отложения серы с селеном и теллуром и в небольших количествах мышьяк, сурьма, висмут, медь, свинец, олово, цинк. Эти богатства кратера не имеют промышленного значения, но исследование процессов их



РАЗРЕЗ Авачинского вулкана (предполагаемая схема)

накопления поможет установить признаки, по которым можно будет определить области, перспективные для поисков полезных ископаемых в древних вулканических районах.



ИКАР СФОТОГРАФИРОВАН!

Нашумевшая малая планета Икар в дни приближения к Земле находилась под наблюдением советских астрономов. И хотя обнаружение и фотографирование Икара было затруднено из-за его слабого блеска (причем дни приближения планеты приходились на полнолуние) и быстрого движения, на нескольких советских обсерваториях получены снимки этой планеты, годные для определения ее координат.

На 4-й странице обложки журнала представлены две фотографии, на которых виден Икар. Вверху — один из первых снимков, полученный в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР 12 июня 1968 г. в 22 часа

52 минуты 45 секунд всемирного времени, когда Икар был удален от Земли на 8,2 млн. км и находился в созвездии Жирафа. Фотография была сделана с помощью телевизионной системы, установленной на 2,6-метровом рефлекторе. На сером зернистом фоне телевизионного экрана среди светлых изображений звезд 17—18-й звездной величины виден Икар (его изображение отмечено стрелкой). Звездная величина Икара в этот момент равнялась $14^m,5$. Чтобы отличить Икар от звезд, каждый кадр снимался с тремя экспозициями (продолжительностью 2 секунды с интервалом 8 секунд). Угловая скорость Икара составляла $35''$ в ми-

нуту. Три изображения планеты слились в одно удлиненное.

Внизу на 4-й странице обложки — фотография Икара, полученная 16 июня 1968 г. сотрудниками Абастуманской астрофизической обсерватории АН Грузинской ССР А. Ш. Хатисовым и С. М. Чантурия на менисковом телескопе. Изображение Икара в виде пяти точек, относящихся к пяти разным моментам, отмечено стрелкой. Направление стрелки указывает направление движения планеты. (Светлые черточки на фотографии — изображения звезд.) От начала первой экспозиции до конца последней прошло 7 минут 45 секунд. Координаты центра фотографии $\alpha = 14^h51^m$, $\delta = +20^\circ50'$.

Помещенный на этой странице снимок с тремя изображениями Икара (светлые черточки) — фотомонтаж трех фотографий, которые получил 15 июня 1968 г. С. К. Фомин на 35-сантиметровом менисковом телескопе Астрономической обсерватории имени В. П. Энгельгардта. Продолжительность каждой экспозиции 2 минуты, от начала первой экспозиции до конца последней — около 12 минут.

Редакция считает своим приятным долгом выразить благодарность директору Абастуманской астрофизической обсерватории АН Грузинской ССР профессору Е. К. Харадзе, директору Астрономической обсерватории имени В. П. Энгельгардта профессору А. А. Нефедьеву и ученому секретарю Крымской астрофизической обсерватории АН СССР кандидату физико-математических наук Л. С. Галкину, любезно приславшим первые фотографии Икара.



РЕНТГЕНОВСКИЕ ВСПЫШКИ НА СОЛНЦЕ

27 июня 1968 г. доктор физико-математических наук С. Л. Мандельштам выступил с докладом на научной сессии Отделения общей физики и астрономии АН СССР. Доклад был посвящен рентгеновским вспышкам на Солнце.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом с борта ракет и искусственных спутников Земли получены десятки фотографий Солнца в рентгеновских лучах. Как уже известно читателям нашего журнала (см. «Земля и Вселенная», № 4, 1967 г.), один из самых важных результатов исследования рентгеновского излучения Солнца — открытие рентгеновских вспышек. Сейчас установлено, что примерно 90—95% «обычных» хромосферных вспышек сопровождается рентгеновскими, но обратное верно далеко не во всех случаях: около 25% рентгеновских вспышек не сопровождается оптическими. До последнего времени было лишь известно, что рентгеновские вспышки возникают в короне над активными областями хромосферы и короны. Недавно С. Л. Мандельштам и его сотрудники оценили высоту, на которой возникает рентгеновская вспышка. Для этого советские ученые наблюдали заход активной рентгеновской области за край солнечного диска. Область, в которой наблюдается рентгеновская вспышка заходит позже, чем например, активная область фотосферы. Величина запаздывания свидетельствует о том, что рентгеновские вспышки возникают на высоте не менее 20—25 тыс. км. Физические свойства среды в области, где возникла рентгеновская вспышка, характеризуются значительной электронной температурой ($2 \cdot 10^6$ К) и большой

электронной плотностью (10^9 — 10^{11} электронов/см³). На таких же высотах в невозмущенных областях солнечной короны температура примерно в 2 раза меньше, а электронная плотность меньше на 1—2 порядка. Не исключено, что в области рентгеновской вспышки имеются вкрапления еще более горячего вещества с температурой до 4 — $5 \cdot 10^6$ К. Однако эти вкрапления должны быть невелики и для их обнаружения потребуются специальные наблюдения, обеспечивающие высокое разрешение деталей в областях рентгеновской вспышки. Такие наблюдения, по-видимому, удастся выполнить в самое ближайшее время.

С. Л. Мандельштам особо отметил, что исследование рентгеновских вспышек имеет важное практическое значение для обеспечения безопасности космических полетов. Дело в том, что, возможно, рентгеновские вспышки помогут за несколько десятков минут предупредить о начале извержения из активных областей Солнца потоков электрически заряженных частиц («корпускул»).

Е. Л.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ СВЕРХНО- ВЫХ

Как известно, при взрывах сверхновых звезд II типа выделяется огромная энергия в форме космических лучей. К. Герри и У. Тукер пришли к выводу, что взрывы сверхновых, происходящие на расстоянии от Земли менее 600 световых лет, могут создать дозы облучения, превышающие фон. Они установили, что при частоте взрывов сверх-

новых в Галактике, равной 0,02 в год, Земля каждые 30 млн. лет получала дозу, большую 500 р, а каждые 800 млн. лет — дозу, большую 1500 р. Генетические эффекты таких событий невелики, ибо количество мутаций в промежутках между взрывами много больше числа мутаций, вызванных самими взрывами. Но ими можно объяснить массовую гибель отдельных видов животных при одновременном сохранении флоры: летальная доза для животных 200—700 р, для растений на порядок выше. Однако гибель морских организмов этим объяснить нельзя, ибо поглощение в воде сильно уменьшает дозу.

«Science», 159, 3813, 1968.

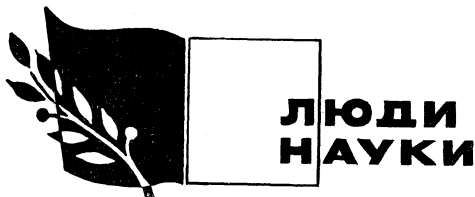


ТЕКТОНОФИЗИКА В ТЕХАСЕ

В составе Техасского университета создан новый Центр по тектонофизике. Основным подразделением научного института является лаборатория моделирования условий, существующих в глубинных недрах Земли. Оборудование позволяет подвергать образцы пород очень высоким давлениям (до 10 тыс. атм) и температурам (до 500° С). В лаборатории удастся исследовать причины изменения физико-механических свойств пород. Новые данные могут представить интерес для изучения механизма землетрясений, возникающих на больших глубинах (50—100 км).

В новом центре будут также исследоваться разломы в образцах пород, возникающие в результате напряжений. Предполагается моделировать подземные ядерные взрывы.

«Science News», 93, 12, 1968.



Указом Президиума Верховного Совета СССР от 17 сентября 1968 года за большие заслуги в развитии астрономической науки и в связи с шестидесятилетием со дня рождения академику **Амбарцумяну** Виктору Амазасповичу присвоено звание **Героя Социалистического Труда** с вручением ему ордена **Ленина** и золотой медали «Серп и Молот».

Виктор Амазаспович Амбарцумян

Академик Виктор Амазаспович Амбарцумян — основатель советской теоретической астрофизики — ученый, имя которого широко известно не только в нашей стране, но и за рубежом и труды которого получили высокую оценку и признание во всем мире.

Виктор Амазаспович Амбарцумян родился 18 сентября 1908 г. в Тбилиси, в семье филолога и писателя А. А. Амбарцумяна. Выдающиеся математические способности, а также глубокий интерес к физике позволили В. А. Амбарцумяну не только блестяще окончить в 1928 г. физико-математический факультет Ленинградского университета, но и опубликовать за время занятий в университете 16 работ по различным вопросам астрономии. Студенческие годы В. А. Амбарцумяна совпали с периодом бурного развития атомной физики, достижения которой способствовали успешной расшифровке спектров небесных тел. Именно исследования спектров дают, главным образом, информацию о процессах, происходящих в различных космических объектах, и служат основой теоретической астрофизики.

После окончания университета В. А. Амбарцумян занимался в аспирантуре Пулковской обсерватории под руководством академика А. А. Белопольского. Этот крупнейший астрофизик-наблюдатель прививал своим ученикам стремление к глубокому анализу результатов наблюдений и к построению теории лишь после всестороннего изучения физической стороны проблемы. Развитие теории на твердой основе наблюдаемых фактов является характерной чертой всего научного творчества В. А. Амбарцумяна, который никогда не увлекается математической стороной проблемы в ущерб физической.

В 30-е годы наибольший интерес астроно-

мы проявляли к физике газовых туманностей. В то время уже было известно, что свечение туманности в оптической области спектра — результат переработки невидимого высокочастотного излучения звезд. Подобный процесс вызывает и свечение оболочек новых звезд. В. А. Амбарцумян создал строгую математическую теорию свечения туманностей и звездных оболочек. Он разработал также ряд методов для определения физических величин (в частности, температуры), характеризующих туманности и звезды, возбуждающие их свечение. В дальнейшем эти методы развивались и совершенствовались многими астрофизиками.

В 1931 г. В. А. Амбарцумян впервые в СССР начинает читать курс теоретической астрофизики в Ленинградском университете. В 1934 г. В. А. Амбарцумяну было присвоено звание профессора, и он стал руководителем созданной тогда же кафедры астрофизики Ленинградского университета, которую он возглавлял до 1947 г.

В этот период В. А. Амбарцумян уделяет много внимания разработке статистической механики звездных систем. В частности, он исследовал статистическое равновесие двойных звезд и нашел, что время, необходимое для того чтобы у этих систем установилось наиболее вероятное распределение по энергиям орбитального движения, — порядка 10^{10} лет. Поскольку из наблюдений не обнаруживается такого распределения, возраст совокупности двойных звезд не должен превосходить 10^{10} лет. Этот вывод В. А. Амбарцумяна опровергал распространенное мнение о долгой шкале времени эволюции Галактики, около 10^{13} лет. Исследование динамики открытых звездных скоплений, проведенное в эти же годы В. А. Амбарцумяном, показа-



В. А. АМБАРЦУМЯН с группой сотрудников Астрономической обсерватории Ленинградского университета (1950 г.)

ло, что скопления должны разрушаться за несколько миллиардов лет. Это также согласуется с короткой шкалой времени эволюции Галактики.

Важное значение для исследования эволюции звезд имели выполненные тогда же работы В. А. Амбарцумяна о нестационарных звездах, в частности, о звездах типа Вольфа — Райе. Как было установлено, эти звезды интенсивно выбрасывают вещество и должны заметно эволюционировать за время порядка нескольких миллионов лет. Вопросы развития и происхождения звезд и звездных систем интересуют В. А. Амбарцумяна в течение всей его дальнейшей деятельности.

За выдающиеся заслуги в развитии теоретической астрофизики В. А. Амбарцумян в 1939 г. был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР. С 1939 г. он руководит Астрономической обсерваторией Ленинградского университета, много работает со студентами и аспирантами. В это же время вышел в свет первый в нашей стране курс «Теоретической астрофизики», написанный

В. А. Амбарцумяном. На этой, богатой новыми идеями книге воспитывалось целое поколение советских астрофизиков.

Своей любовью к науке и постановке интересных задач В. А. Амбарцумян еще в довоенные годы привлек к теоретической астрофизике талантливую молодежь. Именно тогда и возникла «ленинградская школа» теоретической астрофизики. В послевоенные годы работами по теоретической астрофизике в Ленинградском университете стал руководить ученик В. А. Амбарцумяна — член-корреспондент АН СССР В. В. Соболев.

Во время Отечественной войны В. А. Амбарцумян возглавил филиал Ленинградского университета в Елабуге, где под его руководством были выполнены работы, важные для обороны и народного хозяйства нашей страны. Одновременно Виктор Амазаспович продолжает начатые им еще до войны исследования по теории переноса излучения.

Энергия, вызывающая свечение звезды, выносится из ее недр наружу в форме излучения. При этом световые кванты подверга-

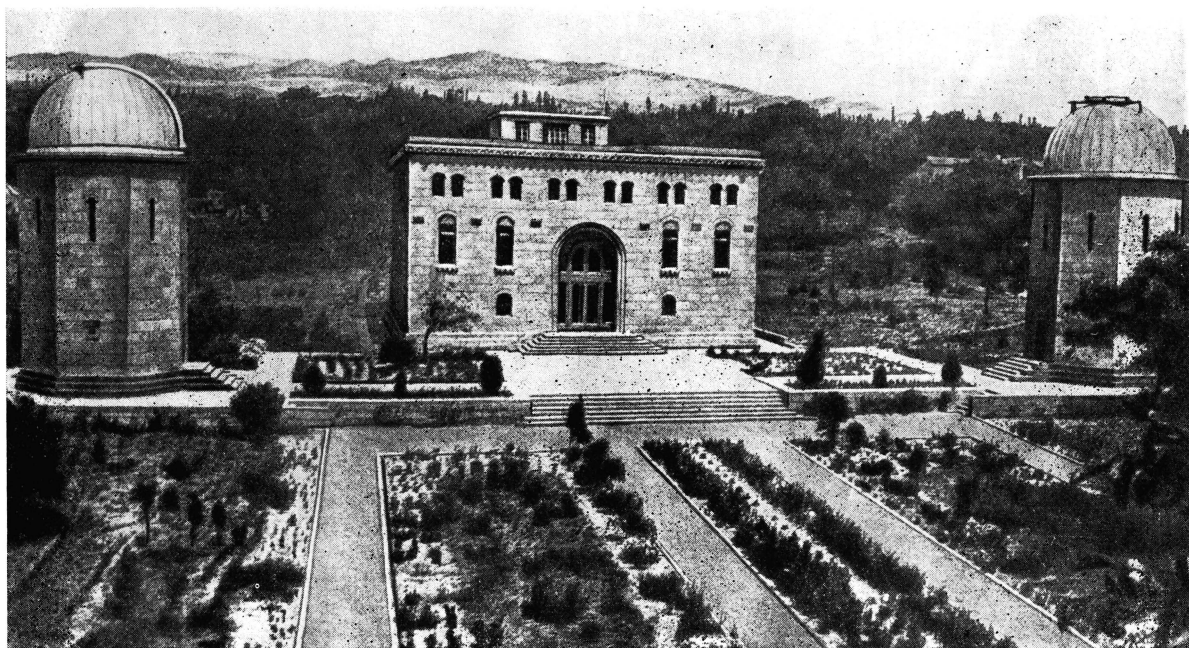
ются рассеянию, поглощаются и испускаются вновь. Таким образом, решение проблемы распространения (диффузии) излучения необходимо для того, чтобы теоретически рассчитать свечение звезды в различных длинах волн. Сравнивая результаты этих расчетов с данными наблюдений, можно определить физические свойства внешних слоев звезд. Решение задачи о рассеянии излучения важно и для исследования планет, поскольку планеты рассеивают и отражают свет Солнца. На основе теоретического расчета зависимости интенсивности отраженного излучения от длины волны судят о физических свойствах планетных атмосфер.

Математически задача о рассеянии света, вообще говоря, сводится к решению очень сложного уравнения для некоторой функции, называемой «функцией источника». Зная функцию источника, можно рассчитать свечение среды. Точное решение этого уравнения весьма затруднительно и возможно лишь в самых простых случаях. В. А. Амбарцумян предложил метод, позволяющий определить интенсивность выходящего из среды излучения и без предварительного нахождения

функции источника. В этом методе математическое изящество сочетается с большой эффективностью, так как уравнения, определяющие интенсивность излучения, сравнительно легко решаются численно. Аналогичным путем могут быть решены и многие физические задачи, связанные, например, с диффузией частиц.

За исследования по теории рассеяния света В. А. Амбарцумян был удостоен в 1946 г. Государственной премии. Разработанная в значительной мере благодаря его усилиям теория рассеяния света стала к настоящему времени важным самостоятельным разделом математической физики.

Для астрофизики и звездной астрономии очень важны работы В. А. Амбарцумяна в 1940—1950 гг. методы исследования межзвездного поглощения света и определения на этой основе структуры Галактики. Используя представление о клочковатой структуре среды, поглощающей свет, В. А. Амбарцумян создал математическую теорию флуктуаций яркости Млечного Пути и флуктуаций числа внегалактических туманностей, наблюдаемых в том или ином направлении.



БЮРАКАНСКАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ Академии наук Армянской ССР

С 1947 г. В. А. Амбарцумян является президентом Академии наук Армянской ССР. В это время под его руководством организуется Бюраканская астрофизическая обсерватория, которую В. А. Амбарцумян возглавляет до настоящего времени. Эта обсерватория быстро стала одним из ведущих астрономических учреждений нашей страны. Особенно широкую известность получили работы Бюраканской обсерватории в области звездной космогонии.

В Бюракане был открыт новый тип звездных систем — звездные ассоциации: очень разреженные группы звезд определенного типа. Звезды, принадлежащие ассоциации, находятся среди других звезд Галактики и испытывают их притяжение. Так как общее поле тяготения Галактики неодинаково в разных местах, то входящие в ассоциацию звезды получают неодинаковые ускорения, и ассоциация за сравнительно короткое время должна распасться. Имеются и другие факторы, ведущие к ее распаду. По расчетам В. А. Амбарцумяна, ассоциация может существовать не более нескольких миллионов лет. Следовательно, наблюдаемые ассоциации образовались сравнительно недавно. Поскольку вероятность их возникновения при случайных встречах звезд практически равна нулю, то надо считать, что звезды, входящие в данную ассоциацию, возникли совместно, и их возраст равен возрасту ассоциации, т. е. составляет всего лишь миллионы лет (возраст же Галактики порядка 10 млрд. лет).

Выводы В. А. Амбарцумяна и его сотрудников о том, что звездообразование продолжается и в нашу эпоху, имеют фундаментальное значение для всей астрофизики и звездной астрономии. Работы В. А. Амбарцумяна и его ближайшего сотрудника Б. Е. Маркаряна по изучению звездных ассоциаций были отмечены Государственной премией.

Благодаря развитию Бюраканской обсерватории В. А. Амбарцумяну удается во все возрастающих масштабах осуществлять тесный контакт теории с наблюдениями при решении важнейших проблем астрофизики и космогонии. В. А. Амбарцумян продолжает исследование нестационарных звезд, многие из которых, как оказалось, входят в звездные ассоциации. Иногда изменения блеска этих звезд, в частности, звезд-карликов типа Т Тельца и UV Кита, происходят очень быстро и в больших масштабах. По мнению

В. А. Амбарцумяна, столь быстрые изменения блеска объясняются не обычным переносом энергии (излучением) из недр звезды в ее внешние слои, а освобождением во внешних слоях звезды энергии, принесенной изнутри каким-то иным путем. Он указал, что наружу может выноситься вещество, являющееся источником звездной энергии.

Космогонические работы В. А. Амбарцумяна еще более повысили его научный авторитет. В 1953 г. Академия наук СССР избирает его своим действительным членом. Он становится также членом многих иностранных академий наук и научных обществ.

Космогонические идеи В. А. Амбарцумяна получили дальнейшее развитие в двух следующих циклах его работ. С одной стороны, изучая звездные ассоциации, В. А. Амбарцумян пришел к заключению о том, что звезды, составляющие ассоциацию, образовались из какой-то более плотной дозвездной формы материи. В связи с этим, он провел (совместно с Г. С. Саакяном) ряд исследований сверхплотных звездных конфигураций и показал возможность существования звезд с плотностью, намного превосходящей даже плотность вещества белых карликов, которые ранее считались наиболее плотными телами. С другой стороны, работы В. А. Амбарцумяна по внегалактической астрономии — исследования кратных систем галактик (двойных, тройных и т. д.) и скоплений галактик — свидетельствуют, что многие из этих систем распадаются. Отдельные члены системы при сближениях с другими получают большую энергию и покидают систему. Само существование таких систем подтверждает вывод о совместном образовании входящих в них галактик. В. А. Амбарцумян считает, что и системы галактик возникают при распаде некоторого очень плотного образования.

Результаты космогонических исследований позволили В. А. Амбарцумяну выдвинуть глубокую и смелую концепцию возникновения звезд и галактик из некоторой, пока не известной физике, формы плотного дозвездного вещества. Эта концепция, в отличие от распространенной гипотезы об образовании звезд и галактик из рассеянного вещества (газа и пыли), находит все большее подтверждение в наблюдениях. В частности, при грандиозных взрывах в ядрах галактик, последствия которых наблюдаются в настоящее время, из ядер выбрасываются струи



В. А. АМБАРЦУМЯН в президиуме X съезда Международного астрономического союза (Москва, 1958 г.). В 1961—1964 гг. В. А. Амбарцумян был президентом МАС

вещества, из которого могут образовываться спиральные рукава галактик.

Даже очень краткий обзор работ В. А. Амбарцумяна позволяет судить, насколько широко охвачены им важнейшие проблемы астрофизики и с какой глубиной, оригинальностью и научной смелостью он проводит свои исследования. Обосновав ту или иную теорию, В. А. Амбарцумян предоставляет ее дальнейшее развитие своим ученикам и последователям.

Для Виктора Амазасповича характерно огромное внимание к любой работе, представляющей интерес для науки. Он всегда находит время, чтобы ознакомиться с перспективной работой и дать ценные советы ее

автору. Особенно много сил тратит В. А. Амбарцумян на подготовку научной смены.

В. А. Амбарцумян, будучи крупным организатором научной работы, неустанно содействует развитию науки в Армянской ССР. Много времени он отдает и общественной деятельности. В. А. Амбарцумян неоднократно избирался депутатом Верховного Совета СССР и членом Центрального Комитета Коммунистической партии Армении.

Встречая свое шестидесятилетие, Виктор Амазаспович, как и в молодости, полон творческих планов и энергично работает в области теоретической астрофизики, основы которой в нашей стране были им заложены почти сорок лет назад.

В. Г. ГОРБАЦКИЙ
профессор

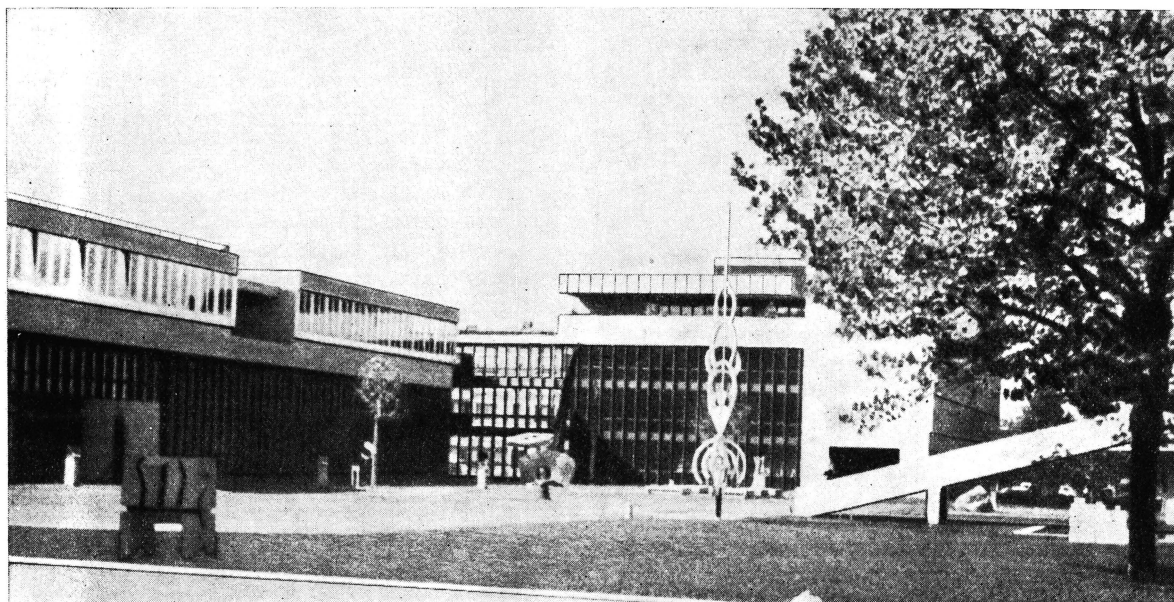


**СИМПОЗИУМЫ,
КОНФЕРЕНЦИИ,
СЪЕЗДЫ**

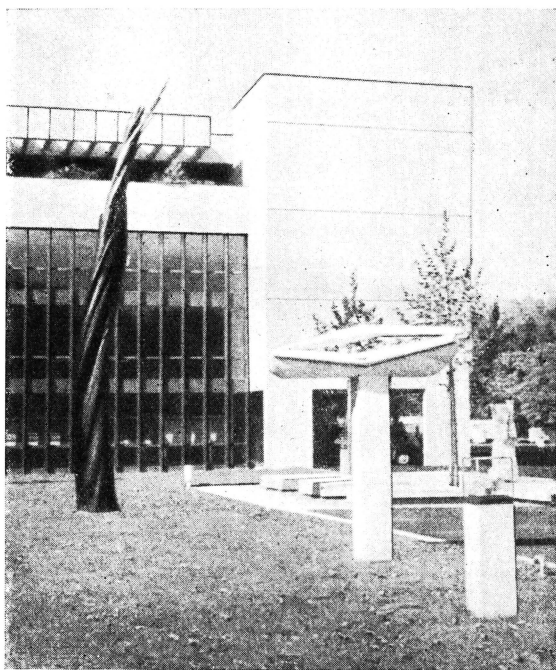
XIV Генеральная ассамблея Международной геодезической ассоциации

*Л. П. ПЕЛЛИНЕН
доктор технических наук*

Мы уже печатали заметки гляциолога доктора географических наук В. М. Котлякова о работе XIV Генеральной ассамблеи Международного геодезического и геофизического союза. В этой статье рассказывается о деятельности во время ассамблеи одной из ассоциаций МГГС — Международной геодезической ассоциации.



ЗДАНИЕ КАНТОНАЛЬНОЙ ШКОЛЫ в Люцерне, где проходили заседания XIV ассамблеи МГА



СОВРЕМЕННАЯ СКУЛЬПТУРА на территории Кантональной школы в Люцерне

В Международной геодезической ассоциации (МГА) пять секций: «Геодезическое определение координат»; «Нивелирование и движения земной коры»; «Спутниковая и астрономическая геодезия»; «Измерения силы тяжести»; «Физическая геодезия». Трудно в кратком очерке описать всю разнообразную деятельность ассамблеи МГА. Здесь будут изложены только основные результаты, характеризующие современное состояние и достижения геодезической науки.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПОСТОЯННЫЕ

В 1964 г. Международный астрономический союз (МАС) принял новую систему фундаментальных астрономических постоянных, в число которых вошли несколько постоянных, характеризующих фигуру и гравитационное поле Земли, а именно: экваториальный радиус Земли $a_e = 6\,378\,160$ м; геоцентрическая гравитационная постоянная Земли

(произведение гравитационной постоянной на массу Земли, включая атмосферу) $GM = 398\,603 \text{ км}^3 \text{ сек}^{-2}$; динамический параметр фигуры Земли (отношение коэффициента при второй зональной гармонике в разложении гравитационного потенциала Земли по сферическим функциям к GM/a_e) $J_2 = 10\,827 \cdot 10^{-7}$.

При существующих точных методах обработки геодезических и гравиметрических данных, когда приходится учитывать отклонения действительной фигуры Земли от некоторой идеальной, которая соответствует фундаментальным постоянным, тщательный выбор нормальных параметров Земли не имеет серьезного значения.

Однако, кроме геодезии, есть такие области науки и техники, в которых достаточно использовать параметры, характеризующие лишь обобщенную фигуру Земли и ее гравитационное поле, и для них важно иметь единую, хорошо согласованную систему фундаментальных постоянных. Поэтому ассамблея МГА приняла указанные выше три параметра под названием «Геодезическая референц-система 1967» (*Système de Référence géodésique*). Принята также поправка в -14 мгал к исходному абсолютному значению силы тяжести в Потсдаме.

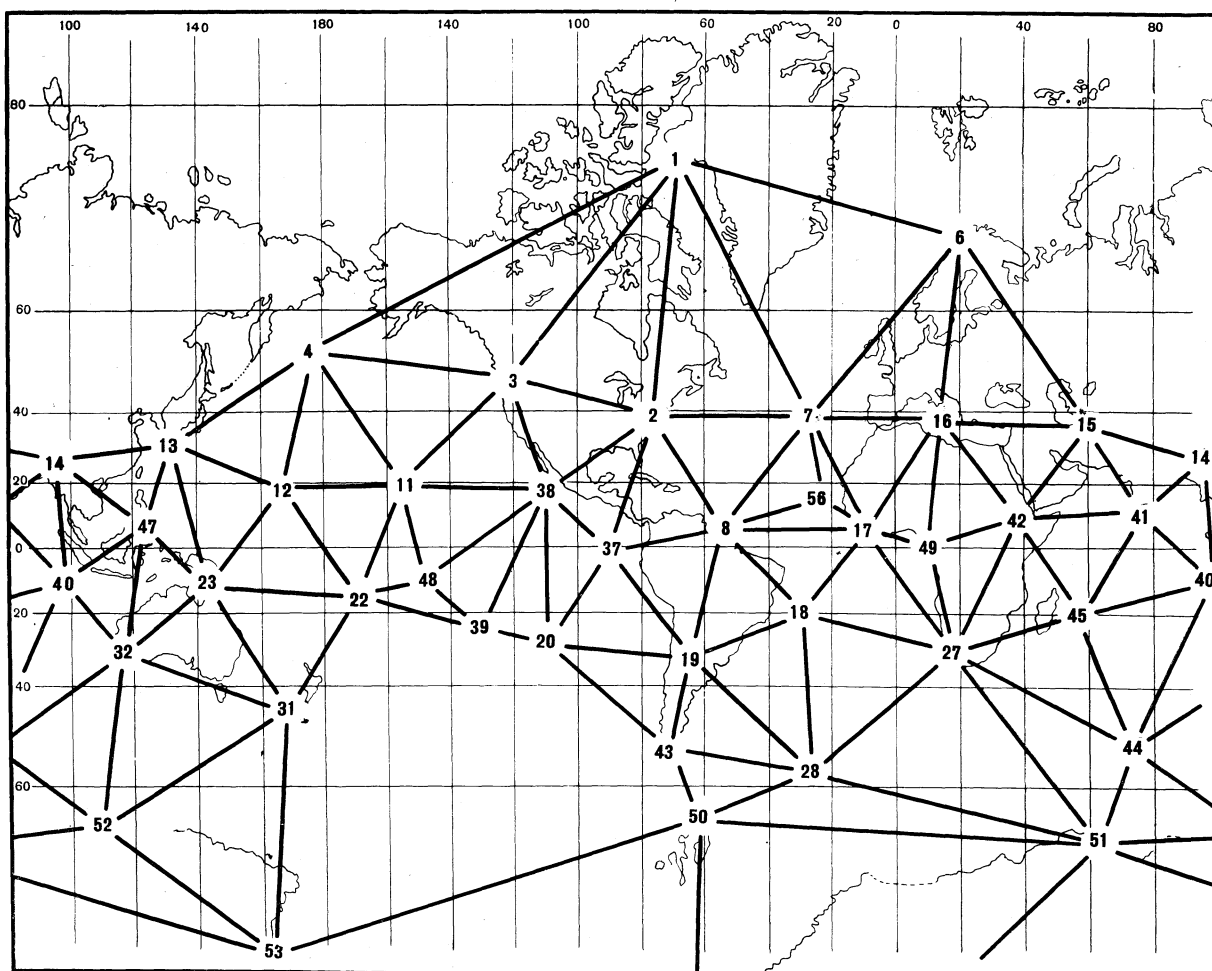
ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИИ И СЕЛЕНОДЕЗИИ

На заседаниях ассамблеи МГА были заслушаны доклады Восточно-европейской и Западно-европейской подкомиссий Международной комиссии по использованию искусственных спутников в геодезических целях и исследовательских групп «Геодезические связи при помощи искусственных спутников» и «Определение гравитационного поля Земли при помощи искусственных спутников». Кроме того, были представлены отчет о деятельности Смитсоновской астрофизической обсерватории (США) в области космической геодезии и другие доклады.

Наибольшую активность в развитии мировых геодезических сетей с помощью спутников проявляют различные организации США.

На некоторых континентах предполагается выполнить сгущение мировых геодезических сетей*. В США и Канаде по данным

* И. Д. Жонголович. Космическая триангуляция. «Земля и Вселенная», № 3, 1968 г.



ПРОЕКТ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ, создаваемой по наблюдениям за спутниками-баллонами «ПАГЕОС»

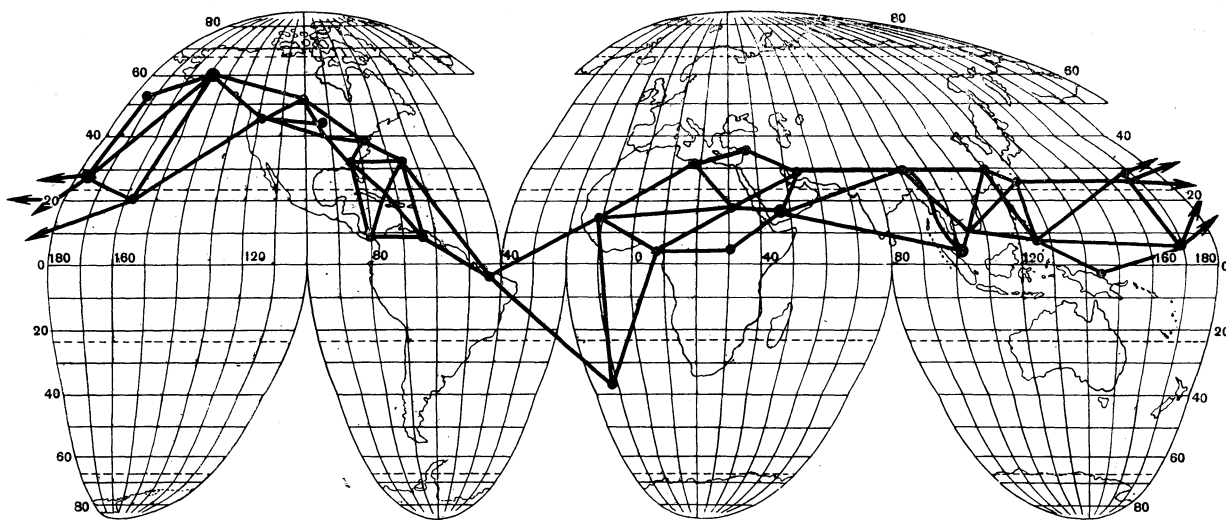
уравнивания сети достигнута точность направлений сети в $\pm 0'',7$, координат пунктов ± 4 м в плане и ± 6 м по высоте. В дальнейшем предусматривается взаимный контроль и увязка результатов, полученных различными системами наблюдения ИСЗ.

Ведется разработка новых средств слежения за ИСЗ, в Геодезическом институте GIMRADA в США создается фотоэлектрическая установка для слежения за ИСЗ с точностью $0'',6$. Исследовательский центр NASA им. Годдарда разработал комбинированную радиодальномерную и доплеровскую систему. Проведено испытание этой системы и начато создание новой мировой сети с ее использо-

ванием. Три пункта сети расположены в США, Австралии и на Мадагаскаре.

Разрабатываются методы по применению лазеров в космической геодезии. Для повышения точности ожидаемых результатов предлагается установить отражатель лучей лазера на Луне и с помощью лазерного устройства периодически контролировать неизменность взаимного положения (по долготе) точек, расположенных на одной параллели, с ошибкой порядка 15 см. Соответствующий проект разрабатывается Национальным бюро стандартов США и Университетом в Мериленде.

Существенные успехи в области спутни-



ПРОЕКТ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ, создаваемой по наблюдениям радиодальномерной системы

ковой геодезии достигнуты во Франции. Создана совершенная установка для измерения расстояния до ИСЗ с помощью лазера. Ею проведено слежение за французскими и американскими геодезическими спутниками. Выполнена передача координат из Франции в Северную Америку, на Ближний Восток и Азорские острова. В дальнейшем космические геодезические сети будут продолжены до Южной Америки.

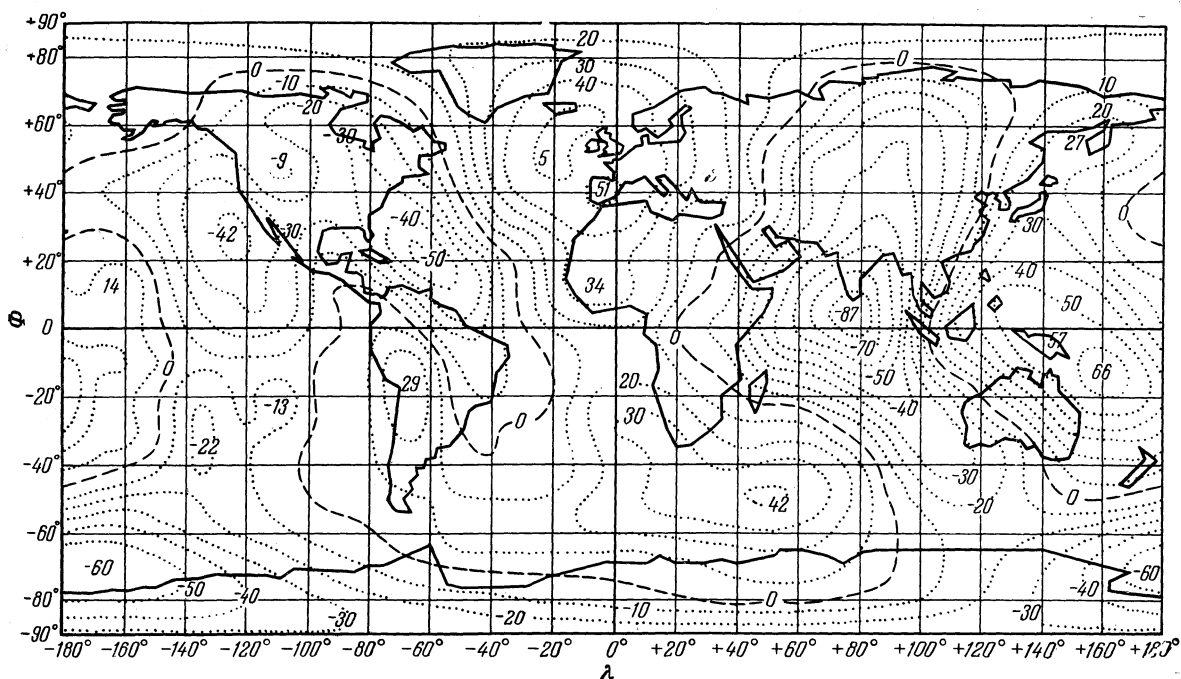
В области селенодезии были представлены три доклада делегатов США. В них рассматривались основные проблемы, связанные с изучением фигуры и гравитационного поля Луны и выбором удобной отсчетной системы. Изложены принципы расчета наземного лазерного устройства и отражателя лучей лазера, устанавливаемого на Луне, для измерения расстояния до Луны и направления на любую точку лунной поверхности; представлены некоторые данные о фигуре Луны и распределении масс, полученные в результате комплексного использования разнообразных средств исследования.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

Несмотря на большие успехи спутниковых методов, у геодезистов различных стран не ослабевает интерес к традиционному

астрономо-геодезическому методу изучения фигуры Земли. Так, сотрудники Военно-картографической службы США составили по астрономо-геодезическим данным новую карту геоида. Они дополнили прежние карты геоида Европы, Африки и Америки. Первые представлена карта геоида в Австралии и Новой Гвинее. Использование этих материалов в сочетании со спутниковыми данными привело к существенному исправлению размеров Земли. Получено новое значение ее экваториального радиуса — 6 378 142 м.

Некоторые ученые попытались разложить гравитационный потенциал по сферическим функциям (до 8—15 порядков), комбинируя гравиметрические и спутниковые данные. Известно, что спутниковые данные позволяют хорошо определить общие особенности гравитационного поля. Однако детали поля лучше определяются по аномалиям силы тяжести. Было представлено четыре различных разложения гравитационного потенциала В. Каула (Калифорнийский университет), В. Кёнлейном (Смитсоновская астрофизическая обсерватория), Д. Рапном (Университет штата Огайо) и А. Бьерхаммаром (профессор из Швеции, выполнявший работу для Исследовательского института агентства GIMRADA в США). Все авторы использовали как исходный материал средние аномалии силы тяжести по трапециям $5^\circ \times 5^\circ$



КАРТА ВЫСОТ ГЕОИДА (в метрах) над общим земным эллипсоидом со сжатием 1:298,25. Составлена В. Кенлейном на основе одновременной обработки спутниковых и гравиметрических данных

или $10^\circ \times 10^\circ$ и коэффициенты разложения, найденные по наилучшим спутниковым выводам. Однако применяемые ими способы одновременной обработки тех и других данных различны и приводят пока к недостаточным устойчивым результатам.

Очень интересным оказался доклад Г. Вейса — греческого ученого, работающего в Смитсоновской обсерватории. Он уточнил путем одновременной обработки разнообразных данных экваториальный радиус (a_e) и сжатие (α) Земли, экваториальное значение силы тяжести (γ_e) и геоцентрическую гравитационную постоянную GM , получив следующие их значения: $a_e = 6\,378\,142 \pm 6$ м; $1 : \alpha = 298,255$; $GM = 398\,600,9 \pm 0,7$ км³ · сек⁻²; $\gamma_e = 978\,031 \pm 3,2$ мгал.

Несомненно, что представленные в Люцерне результаты определения фигуры, размеров и гравитационного поля Земли являются началом будущих более точных комплексных исследований.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ

На XIV ассамблее МГА теоретическим проблемам физической геодезии было уделено большое внимание. Предметом изучения физической геодезии является определение фигуры и гравитационного поля Земли по гравиметрическим и астрономо-геодезическим данным. Уже много лет советские ученые занимают ведущее положение в решении теоретических проблем физической геодезии. Особое значение имеют выдающиеся работы члена-корреспондента АН СССР, лауреата Ленинской премии М. С. Молоденского. Зарубежные ученые все чаще обращаются к работам М. С. Молоденского, пытаются выполнять отдельные исследования, развивая поднятые им вопросы.

На ассамблее вызвали интерес доклады советской делегации по теоретическим проблемам физической геодезии (Л. П. Пеллинен,

В. Ф. Еремеев и М. И. Юркина, В. И. Аронов).

Следует также отметить всеобщее внимание к поискам методов, хорошо приспособленных к электронно-вычислительным машинам, и применению современной статистики в физической геодезии.

АБСОЛЮТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

Работы по абсолютным измерениям силы тяжести имеют большое значение для геодезии, метрологии, а также различных отраслей науки и техники, которые занимаются расчетами и использованием сил притяжения Земли в космическом пространстве.

Выяснилось, что успехи в технике точного одновременного измерения расстояний и коротких интервалов времени сделали реальным настолько значительное повышение точности абсолютных определений, что она уже не уступает точности относительных измерений силы тяжести. Появилась реальная возможность использовать абсолютные определения силы тяжести для создания опорных пунктов «нулевого» порядка и изучения вековых изменений силы тяжести.

В докладе А. Кука (Англия) сообщалось, что за последние 4 года проведено четыре абсолютных определения методом свободного падения, и в настоящее время ведутся еще 10 определений в США, ФРГ, Франции, Англии, ГДР, Аргентине, Австралии, Японии, Финляндии. Сходимость законченных четырех определений исключительно высокая. Наиболее высокая реальная точность порядка 0,1 мгал достигнута в 1967 г. А. Сакума в Международном бюро мер и весов (Север, Франция) и А. Куком в Национальном бюро стандартов (Теддингтон, Англия). Два других определения методом свободного падения завершены в США Д. А. Фаллером (1963 г.) и Д. Р. Тейтом (1966 г.)

ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

Многочисленные доклады были посвящены созданию Мировой опорной гравиметрической сети. Следует отметить, что работы с использованием новой совершенной аппаратуры высокого качества (например, новых

гравиметров Ла Коста Ромберг, вакуумных маятниковых приборов с фотоэлектрической регистрацией и др.) достигли большого размаха за рубежом. Однако в них нет общих принципов построения Мировой опорной сети, нет согласованной схемы, за исключением работ по трем эталонным базисам (Северо-Американский, Евро-Африканский и Дальневосточный). В результате гравиметрические работы, выполненные различными организациями даже одной и той же страны, хаотически перекрываются.

Советские делегаты М. Е. Хейфец и Ю. Д. Буланже сообщили о разработке новой аппаратуры и о методах ее использования при создании опорных сетей I класса. В СССР маятниковые и гравиметровые измерения силы тяжести выполняются с высокой точностью; результаты измерений хорошо согласуются между собой даже при очень больших разностях силы тяжести связываемых пунктов.

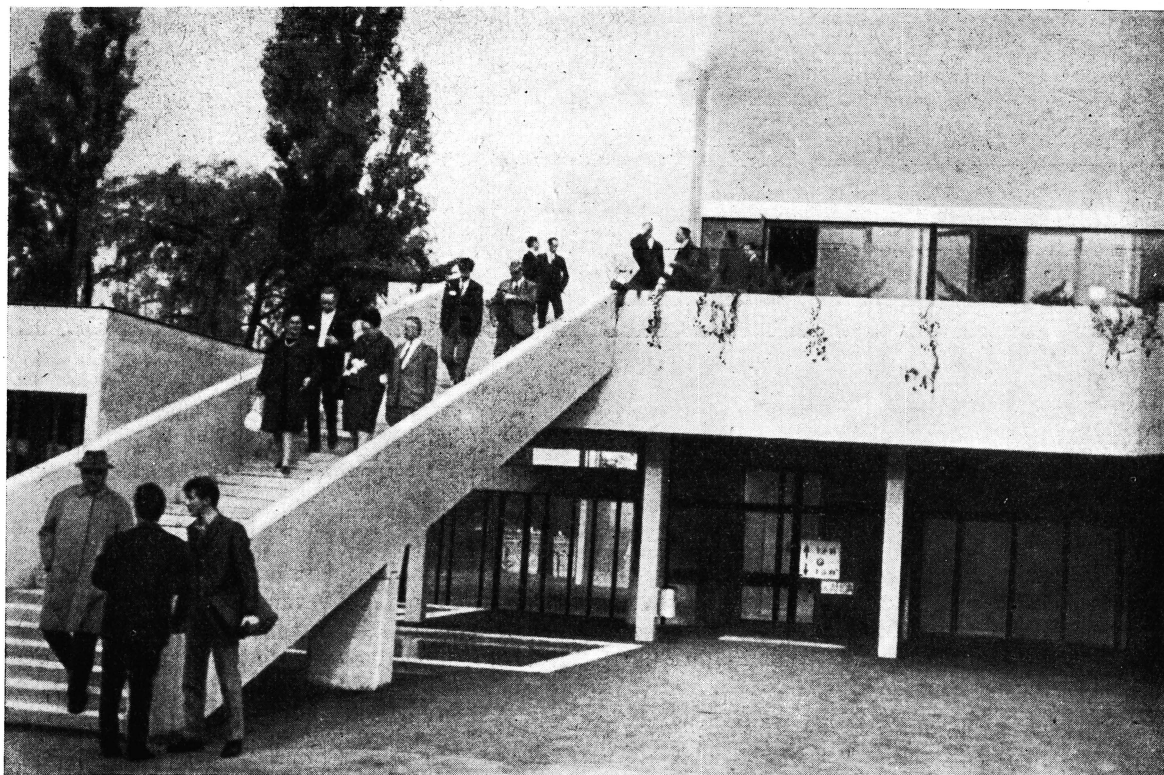
Многие доклады, посвященные относительным измерениям силы тяжести связаны с измерениями силы тяжести в морях и океанах (в том числе доклады советских делегатов М. Е. Хейфеца и К. Е. Веселова). Благодаря созданию надводной аппаратуры, эти работы стали сравнительно недорогими и ведутся во многих странах. Объем надводных работ уже значительно превзошел ранее выполненную в течение нескольких десятилетий подводную гравиметрическую съемку (например, голландские гравиметристы покрыли густой сетью маршрутов всю северную часть Атлантического океана).

УСПЕХИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ

Термин «геометрическая геодезия» получил распространение сравнительно недавно. Геометрическая геодезия занимается вопросами создания геометрических построений с помощью различных измерений на земной поверхности. При этом в настоящее время широко используются физические методы измерения расстояний с помощью свето- и радиодальномеров.

Были представлены доклады о создании новых приборов. Например, светодальномер «Мекометр III» Национальной физической лаборатории Великобритании обеспечивает точность измерений до 0,1 мм при расстоянии около 3 км.

Светодальномерные измерения позволили



Участники Ассамблеи после заключительного заседания

в ряде стран приступить к созданию геодезических сетей более точных, чем обычная астрономо-геодезическая сеть.

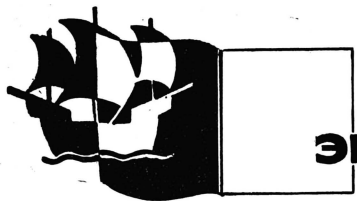
ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Вопросы движения земной коры были основными в работе секции «Нивелирование и движения земной коры». Наряду с классическим методом нивелирования при их решении все шире используются данные о среднем уровне моря и результаты гидростатического нивелирования.

Рассматривались также вопросы об изменении координат точек земной поверхности во времени. Принято решение изучать горизонтальные движения материков путем повторных определений долгот с помощью фотографических зенитных труб и призменных астролябий Данжона. Такие наблюдения проводятся на станциях службы широт, распо-

ложенных вдоль параллели $+39^{\circ}08'$, и четырех станциях вдоль параллели -34° . Предполагается также с помощью призменных астролябий изучать сдвиги пунктов по широте. В перспективе имеется в виду использование искусственных спутников и наблюдений, связанных с Луной. Ставятся вопросы исследования локальных перемещений земной коры и изменений направления отвесной линии в существующих и во вновь выбранных пунктах высокоточных астрономических определений.

Ассамблея завершилась выбором руководящих органов МГА. Президентом Международной геодезической ассоциации выбран профессор А. Марусси (Италия), первым вице-президентом — член-корреспондент АН СССР Ю. Д. Булацке, вторым вице-президентом — профессор Т. Куккамяки (Финляндия). Генеральным секретарем МГА вновь избран профессор Ж. Ж. Леваллуа (Франция).



ЭКСПЕДИЦИИ

На Сихотэ-Алинь — за метеоритами

Е. Л. КРИНОВ

доктор геолого-минералогических наук

Почти двадцать два года прошло с того времени, когда в Приморском крае на западных отрогах Сихотэ-Алиня выпал знаменитый Сихотэ-Алинский железный метеорит-

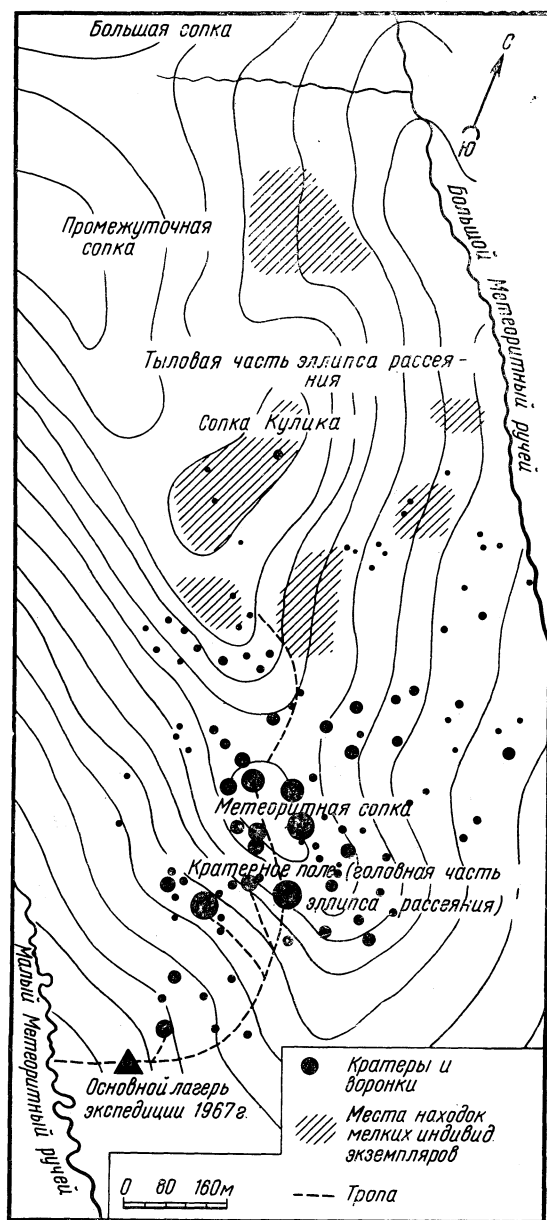
ный дождь. Случилось это 12 февраля 1947 г., утром, в 10 часов 38 минут.

Вскоре район падения Сихотэ-Алинского метеоритного дождя был обследован экспе-



НАИБОЛЬШИЙ КРАТЕР (диаметр 26 м, глубина 6 м), образовавшийся при ударе о грунт крупного метеорита

Фото В. Б. Шапошникова, 1948 г.



СХЕМАТИЧЕСКАЯ КАРТА района падения Сихота-Алинского железного метеоритного дождя

дией Комитета по метеоритам Академии наук СССР, которой руководил академик В. Г. Фесенков. Экспедиция установила, что метеоритный дождь рассеялся по гребням сопки на площади 2,1 км². Он был обусловлен дроблением в атмосфере первоначально единого метеорного тела, двигавшегося с кос-

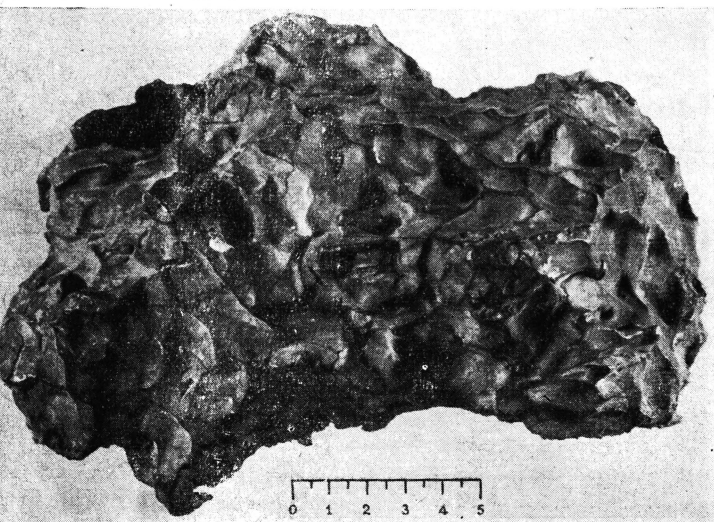
мической скоростью. Вес тела, вероятно, превышал сто тонн. Более крупные обломки (весом в тонны) при падении раздробили скальные породы, образовав в них кратеры и большие воронки; сами же метеориты раскололись на многочисленные осколки. Были обнаружены кратеры и воронки (в количестве 122) поперечником от 0,5 до 25 м и лунки (78) диаметром менее 0,5 м. В лунках и небольших воронках были найдены целые метеориты весом в десятки и сотни килограммов.

Таким образом, во время метеоритного дождя выпали, во-первых, обломки крупных индивидуальных экземпляров, расколовшихся при падении и ударе о грунт; во-вторых, целые индивидуальные экземпляры, возникшие в результате дробления метеорного тела при его движении в атмосфере. Первые имеют рваные и изогнутые края, линии скольжения и другие следы ударов и деформации; вторые — покрыты корой плавления, для них характерен резко выраженный регмаглиттовый рельеф. Следует отметить, что падение даже самого крупного метеорита, образовавшего наибольший кратер (поперечником 26 м), никакими взрывными явлениями не сопровождалось.

В тыловой части эллипса рассеяния на поверхности грунта было собрано 175 целых индивидуальных экземпляров весом от долей грамма до нескольких килограммов. Поскольку метеоритный дождь выпал зимой, то мелкие экземпляры завязли в снегу и лишь постепенно опустились на грунт. Первая экспедиция начала свою работу ранней весной 1947 г., как только сошел снег, и окончила ее, когда появилась молодая трава и листья на деревьях и кустарниках. И хотя метеориты были хорошо видны на расстоянии нескольких метров, обследовать удалось лишь небольшую площадь, и многие мелкие экземпляры остались в тайге. Но именно они представляли особенно большую ценность для изучения механизма разрушения метеорного тела. Это объясняется тем, что мелкие экземпляры, покрытые корой плавления темносерого цвета с синеватым оттенком, напоминающим цвет спелых слив, лежали на поверхности грунта и не подверглись загрязнению и ржавлению. Поэтому на них особенно хорошо были видны самые разнообразные, порой резко выраженные следы абляции: расплавление, сдувание и разбрызгивание расплавленного вещества и т. п. Собранные



ТИПИЧНЫЙ осколок метеорита (вверху) и целый индивидуальный экземпляр (внизу). Осколок имеет заостренные края и сдавленную линзовидную форму. Характерная особенность целого метеорита — резко выраженный регмаглиптовый рельеф



175 мелких индивидуальных экземпляров представляют собой уникальную коллекцию метеоритов. Интересно, что последующим трем экспедициям не удалось найти ни одного такого экземпляра. Метеориты были погребены под старыми древесными листьями, сухой травой и т. д.

В кратерах и крупных воронках, а также в их окрестностях еще первая экспедиция обнаружила распыленное метеоритное вещество, которое легко извлекалось из грунта магнитами. Вторая и третья экспедиции, работавшие в 1948 и 1949 гг., собрали уже несколько сотен образцов грунта. Изучение этих образцов показало, что распыленное метеоритное вещество содержит метеоритную пыль — мельчайшие частички-осколочки, образовавшиеся при ударе крупных метеоритов о грунт. Среди этих частиц, правда в значительно меньшем количестве, присутствует метеорная пыль — магнетитовые шарики и другие сферические частицы диаметром от немногих микронов до десятых долей миллиметра. Эти шарики и сферические частицы представляют собой окислившиеся капельки никелистого железа,

которые превратились в затвердевшие магнетитовые шарики. Они были сдуты с поверхности метеорного тела и его обломков во время движения в атмосфере и, таким образом, являются продуктом абляции. Наконец, в метеоритном веществе крайне редко встречаются одиночные микрометеориты — мелкие, оплавленные с поверхности кусочки метеоритного тела, отколовшиеся в момент его дробления в атмосфере. Вес микрометеоритов колеблется от десятых долей грамма до десятых долей миллиграмма.

Как показала дальнейшая обработка, собранных первой экспедицией образцов грунта оказалось недостаточно для всестороннего изучения распыленного метеоритного вещества, его местных концентраций по эллипсу рассеяния, морфологических и физических свойств, химического и минералогического состава и т. д. В то же время, условия и обстановка падения Сихотэ-Алинского метеоритного дождя, в основном, были выяснены уже первой экспедицией 1947 г.

В результате работ последующих трех экспедиций были уточнены некоторые детали, изучена геология местности, произведена аэрофото- и топографическая съемки района падения, на основе которых были составлены карты, исследована применимость магнитометрии для поисков метеоритов и, наконец, были произведены раскопки небольших воронок и лунок, а также частично расчищены крупные воронки и кратеры и извлечены из них целые метеориты и осколки. Всего было собрано и доставлено в Комитет по метеоритам около 8500 образцов, общим весом свыше 23 т. Между тем, по приближенной оценке, должно было выпасть около 70 т метеоритного вещества, в том числе и в распыленном состоянии. Таким образом, можно было заключить, что в районе падения осталось еще около 40 т.

В 1950 г. полевые работы в районе падения метеоритного дождя были временно прерваны, и в течение нескольких лет в Комитете по метеоритам производилась обработка собранного научного материала. Итоги выполненной работы были опубликованы Комитетом по метеоритам в двухтомной коллективной монографии, первый том которой вышел в свет в 1959 г., а второй — в 1963 г.

Сихотэ-Алинский железный метеоритный дождь — уникальное явление природы, единственное по своим масштабам на земном ша-



СТРУКТУРА КОРЫ ПЛАВЛЕНИЯ одного из целых индивидуальных экземпляров, найденных в районе падения Сихотэ-Алинского метеоритного дождя. Отчетливо видны следы абляции: струйки, растекающиеся по поверхности метеорита (увеличено в 15 раз)



МЕТЕОРИТНАЯ (ОСТРОУГОЛЬНЫЕ ЧАСТИЦЫ) И МЕТЕОРНАЯ ПЫЛЬ (ШАРИКИ, ОТМЕЧЕННЫЕ СТРЕЛКОЙ), извлеченная из грунта в районе падения железного метеоритного дождя (увеличено в 100 раз)

ре. Падение (болид) наблюдалось многими очевидцами, а выпавший метеоритный дождь оставил четкий след на земной поверхности в виде кратеров, воронок и лунок, а также многочисленных повреждений деревьев. Основываясь на наблюдениях болида очевидцами, Н. Б. Дивари определил атмосферную траекторию метеорного тела, а В. Г. Фесенков — геоцентрическую скорость влета тела в атмосферу (14—15 км/сек) и элементы его орбиты. Орбита оказалась типичной для астероидов. Так было установлено, что Сихотэ-Алинский метеорит — это мелкий астероид, столкнувшийся с Землей. Морфологическое изучение собранных метеоритов и их осколков позволило автору исследовать механизм разрушения (дробления и абляции) метеорного тела в атмосфере и крупных метеоритов при их ударе о грунт.

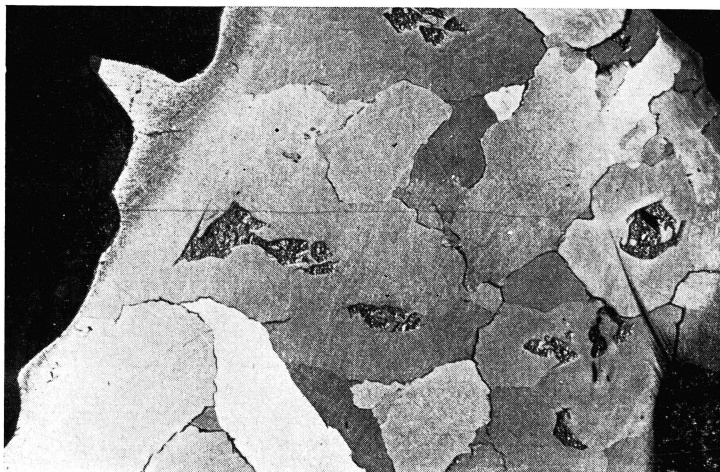
Интенсивное дробление метеорного тела в атмосфере и более крупных метеоритов при их ударе о грунт было вызвано особой, кусковато-балочной структурой метеорного тела и крупных метеоритов. Метеорное тело состояло как бы из спрессованных отдельных балок и кусков размерами от нескольких миллиметров до многих сантиметров. Между структурными элементами имелись тончайшие прослойки, содержащие минералы троилит и шрейберзит, которые значительно ослабляли связь между кусками и балками. В результате, летящее с космической скоростью метеорное тело оказалось недостаточно прочным, чтобы выдержать давление атмосферы. Вот почему оно раздробилось на множество

частей. По этой же причине от удара о грунт раскололись и более крупные обломки метеорного тела. Этот вывод был подтвержден С. С. Фонтоном и А. А. Явнелем на основании механических свойств метеоритов.

Химический состав метеоритного вещества определила М. И. Дьяконова. Она обнаружила, что метеоритное вещество содержит: железа — 93,29%, никеля — 5,94, кобальта — 0,38, меди — 0,03, фосфора — 0,46 и серы — 0,28. В ничтожных количествах имеются и многие другие химические элементы.

Л. Г. Кваша, исследуя метеоритное вещество, определила его минералогический состав (в %): камасит — 98,7, шрейберзит — 1,32, троилит — 0,30. Встречаются включения минерала хромита и редких зерен оливина. Л. Г. Кваша также установила, что камаситовые балки в метеоритах имеют обычно октаэдрическое расположение.

Как уже было сказано, проведенные с 1947 по 1950 г. четыре экспедиции далеко не полностью выполнили полевые работы. Не были, например, собраны все мелкие индивидуальные экземпляры в тыловой части эллипса рассеяния, а также крупные целые экземпляры и многочисленные осколки, рассеявшиеся в кратерном поле и оставшиеся в тех кратерах и воронках, которые не вскрывались; недостаточно было собрано образцов грунта для изучения распыленного метеоритного вещества; не было изучено строение и характерные особенности свежесформированных (а потому особенно интересных) сихотэ-алинских кратеров и воронок.



КУСКОВАТО-БАЛОЧНАЯ СТРУКТУРА, наблюдаемая на протравленной поверхности одного из сихотэ-алинских метеоритов (уменьшено примерно в 2 раза)

ТРАКТОР, доставивший снаряжение, с трудом пробился через тайгу к месту стоянки экспедиции 1967 г.

Фото Е. Л. Кринова



Поэтому Комитет по метеоритам в 1967 г. направил в район падения новую экспедицию под руководством автора.

Пятая по счету экспедиция в район падения Сихотэ-Алинского метеоритного дождя выехала из Москвы в первых числах августа 1967 г. Но приступить к работе участникам экспедиции удалось лишь в конце августа. Неделью экспедиция потеряла из-за ливневых дождей и разлива рек Уссури и Имана. Затем почти 150-километровый путь на автомашинах и, наконец, 4,5 км по бездорожью в тайге. Последние километры все участники экспедиции прошли пешком, доставив на место стоянки экспедиции большую часть снаряжения. Лишь самый тяжелый и громоздкий инвентарь экспедиции в лагерь привез трактор, с трудом пробившийся сквозь тайгу.

Нужно сказать, что автор, участвовавший в первой экспедиции 1947 г. и видевший кратеры и воронки вскоре после их образования, был поражен тем, как прекрасно они сохранились, хотя прошло уже двадцать лет после падения метеоритного дождя. Кратеры и крупные воронки, образованные в разбитых метеоритами скальных породах, великолепно сохранили свои контуры, форму и размеры. Правда, на их внутренних склонах за двадцать лет выросли роицы березок, аралии, черемухи и других деревьев и кустарников.

Сохранилась в первозданном виде и тайга, поскольку решением местных учреждений район падения метеоритного дождя был объявлен «заказником» и рубка леса здесь

была запрещена. В тайге бродят изюбры, стада кабанов, медведи; водится белка, барсук и другие звери. В окрестностях можно встретить даже тигра. Но, пожалуй, самое неприятное обстоятельство, с которым столкнулись участники экспедиции, — это множество ядовитых змей, живущих под камнями в кратерах и воронках.

Пятнадцать участников экспедиции сгруппировались в четыре отряда. Первый, разведывательный отряд состоял из трех человек, возглавлял его В. И. Некрасов. Отряд должен был отождествить на местности по карте большую часть (если не все 122) ранее известных кратеров и воронок, произвести их маркировку, описать и сфотографировать их. Члены разведывательного отряда опознали по карте на местности, замаркировали, описали и сфотографировали около 100 кратеров и воронок.

Второй, состоявший тоже из трех человек, геологический отряд, начальником которого был эстонский геолог, специалист по метеоритным кратерам А. О. Аалое, должен был изучить строение метеоритных кратеров и воронок. Сначала был исследован кратер диаметром 11,4 м и глубиной 1,9 м, который не вскрывался предыдущими экспедициями. От центра кратера через южный борт до наружного края была прорыта траншея, длиной в 10 м, шириной в 1 м и глубиной до 3 м. В материале, заполняющем склоны и дно кратера, удалось найти рассеянные на разных глубинах многочисленные мелкие осколки метеорита. Под внутренним южным склоном, вблизи дна траншеи и недалеко от



ТРАНШЕЯ, прорытая участниками экспедиции 1967 г. от центра одного из кратеров, через его южный борт, до наружного края. Длина траншеи — 10 м, ширина — 1 м, глубина — 3 м. Исследование материала, заполняющего склоны и дно кратера, позволяет судить о строении метеоритного кратера

Фото Е. Л. Кринова

центра кратера были обнаружены четыре крупных осколка метеорита общим весом около 200 кг. Конечно, собранное метеоритное вещество составляет лишь часть того вещества, которое находилось и осталось в заполняющем материале кратера. Ведь обнаружили и собрали только то, что оказалось на месте прорытой траншеи.

Далее была вскрыта воронка диаметром 2,2 м, которую прежние экспедиции тоже не исследовали. Эта воронка образована в мягком грунте, рядом с бортом кратера диаметром 11,6 м. Через центр этой воронки с севера на юг также была прорыта траншея. Под южным бортом воронки, на глубине около

1 м был обнаружен метеорит весом около 100 кг.

Наконец, был заложен небольшой шурф в южном борту воронки диаметром 7,0 м, теперь заполненной водой. Шурф позволил исследовать строение борта этой воронки, возникшей в мягком грунте, в низинном месте.

Третий, почвенный отряд, состоял из четырех человек. Под руководством Н. И. Заславской участники этого отряда собрали более 200 образцов грунта общим весом около 200 кг для изучения распыленного в грунте метеоритного вещества. Нужно сказать, что при опробовании грунта магнитами в кратерах и их окрестностях было тотчас же установлено, что в нем в изобилии имеется распыленное метеоритное вещество. Более детальное исследование магнитной фракции, выделенной из грунта, под биноклем показало присутствие как метеоритной, так и метеорной пыли (магнетитовых шариков).

Четвертый, метеоритный отряд (начальник Е. И. Малинкин) состоял из пяти человек. Отряд должен был собрать с помощью миноискателей и магнитных посохов мелкие индивидуальные экземпляры, выпавшие в тыловой части эллипса рассеяния. Это оказалось довольно сложным делом. Трудность состояла в том, что эти мелкие метеориты были засыпаны слоем перегнивших древесных листьев и травы, различного мусора и т. д., толщина которого достигала 8—10 см. Метеориты могли быть обнаружены только миноискателями, а совсем мелкие (весом в доли грамма) магнитными посохами — сильными подковообразными магнитами, насаженными на длинные деревянные рукоятки. Но чтобы найти метеорит, нужно каждый метр площади обследовать и миноискателем, и посохом. Между тем большие участки тайги покрыты густыми зарослями кустарников, обвитых лианами (лимонником, диким виноградом, актинидией и др.); заросли сменяются завалами старых деревьев, так что нелегко даже просто пройти по тайге. Кроме того, нельзя было заранее знать, в каких именно участках рассеяны мелкие индивидуальные экземпляры. А ведь еще в 1947 г. было установлено, что они рассеялись по тайге неравномерно и образовали в определенных местах сгущения, где метеориты встречались на расстоянии немногих метров друг от друга. В то же время попадались участки поперечником в несколько десятков метров, на которых не было обнару-

ОБРАЗЦЫ ГРУНТА, собранные в районе падения Сихотэ-Алинского метеоритного дождя экспедицией 1967 г.

Фото Е. Л. Кримова



жено ни одного метеорита. По этим причинам первые несколько дней поиска метеоритов оказались бесплодными. Но, наконец, первый метеорит был найден, и работа пошла успешно: каждый день мы собирали более десятка или даже двух десятков метеоритов.

На одном участке поперечником около 150—200 м было обнаружено около 200 метеоритов. Всего же экспедиции удалось собрать 226 экземпляров. Среди них оказались такие маленькие, вес которых не превосходил 1—2 г. С помощью магнитных посохов было найдено несколько микрометеоритов весом в сотые и тысячные доли грамма. Некоторые метеориты были обнаружены под

корнями растущих папоротников, другие в полусгнивших деревьях, засыпанных землей, третьи — между корнями растущих деревьев и т. д. Самый крупный индивидуальный экземпляр имел вес 2,273 кг. Чаще всего попадались метеориты весом в десятки и сотни граммов.

Несмотря на то, что метеориты пролежали в грунте двадцать лет, они хорошо сохранились: кора плавления предоохранила их от разрушения. Они не потеряли своих очертаний, нередко очень причудливых, с резкими выступами и четко выраженным регмаглитовым рельефом. Был найден образец весом в 107 г, внешне напоминающий шахматного коня. На одной его уплощенной стороне на-

КАЖДЫЙ МЕТР ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ в районе падения метеоритного дождя исследовали участники экспедиции 1967 г. миносекателями и магнитными посохами в поисках мелких индивидуальных экземпляров

Фото Е. Л. Кримова





ЦЕЛЫЙ ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ЭКЗЕМПЛЯР, найденный в районе падения метеоритного дождя. Вес метеорита 107 г; внешне он напоминает шахматного коня



ДВА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЭКЗЕМПЛЯРА весом 178 и 217 г, сложенные поверхностями дробления. Хорошо видна линия дробления



СЛЕДЫ АБЛЯЦИИ — растекающиеся струйки, натечность и разбрызганные капельки-шарики — на поверхности образца вблизи его края (увеличено в 30 раз)

блюдаются крупные регмаглипты поперечником около 1,5 см. Это свидетельствует о том, что поверхность является частью наружной поверхности первоначального метеорита, от которого откололся во время движения в атмосфере данный экземпляр. Принимая во внимание установленную автором зависимость размера регмаглиптов от попереч-

ного сечения метеорита (поперечник регмаглиптов в среднем составляет $\frac{1}{9}$ поперечного сечения метеорита), можно заключить, что поперечник метеорита, от которого откололся описываемый экземпляр, около 16—18 см.

Найдены и другие индивидуальные экземпляры с наружной поверхностью, частично принадлежащей первоначальным ме-

теоритам. Два из них весом 178 и 217 г, обнаруженные на расстоянии около двухсот метров друг от друга, удалось сложить поверхностями дробления, покрытыми корой плавления, но сохранившими неровности излома. Оба образца плотно примыкают друг к другу, а на участках наружных поверхностей восстанавливается рисунок регмаглиптового рельефа. При дальнейшем морфологическом изучении собранных образцов, возможно, удастся сложить и многие другие из них и, таким образом, восстановить если не полностью, то хотя бы частично раздробившиеся метеориты. Все это очень важно для изучения механизма дробления метеорных тел в атмосфере.

Собранные целые индивидуальные экземпляры за двадцать лет пребывания в грунте все же покрылись тонкой пленкой окислов. Они приобрели коричневатую окраску и теперь уже не напоминают по цвету спелые

сливы. Но тщательное исследование поверхностей некоторых экземпляров показало, что на многих из них есть участки, не покрывшиеся пленкой окислов и сохраняющие первоначальный темно-серый цвет коры. Удалось даже обнаружить резко выраженные струйки, натежность, разбрызганные капельки-шарики. Подобные открытия весьма важны для изучения абляции метеорных тел.

К концу сентября план работ экспедиции был выполнен и ее участники выехали в Москву.

Результаты, полученные экспедицией 1967 г., показали, что работа по изучению места падения Сихотэ-Алинского железного метеоритного дождя и сбору метеоритного вещества далеко еще не завершена. В настоящее время на Сихотэ-Алине заканчивает работу очередная экспедиция, а в будущем году за метеоритами туда снова отправятся исследователи.



ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АНТАРКТИДЕ

Подведены итоги первых пяти лет гляциологических исследований в Антарктиде по новозеландскому проекту «Шельфовый ледник Мак-Мёрдо».

Одной из основных целей проекта было изучить связь между сжатием льда и направлением его движения. Для этого была установлена сеть бамбуковых вех, образующих треугольники. По измерениям первоначальных расстояний и углов устанавливалась степень и направление макси-

мального сжатия или расширения льда в каждой части шельфового ледника. Опорные точки («маяки») для съемки устанавливались на окружающих высотах. На огромной площади ледника в 70 пунктах измерений выполнено несколько тысяч наблюдений, пройдено со съемкой около 8000 км.

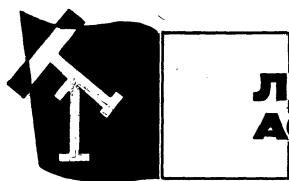
Установлено, что скорость движения льда с ледника составляет в районе утеса Минна около 700 м в год. После того, как этот ледник огибает остров Уайт и сливается с ледниками Орора и Террор, скорость его уменьшается почти в десять раз. Однако по мере движения на запад, мимо станции

Скотта, поле ледника расширяется и скорость снова увеличивается почти вдвое. В районе соприкосновения со льдами ледника Кетлица движение почти полностью прекращается.

В будущем предполагается на шельфовом леднике Мак-Мёрдо построить крупный аэродром для посадки тяжелых колесных самолетов ВМФ США.

В новом пятилетнем плане новозеландских антарктических исследований предусмотрено продолжение этих работ. Во главе проекта — видный гляциолог доктор А. Дж. Хейне.

«Antarctic», 5, 28, 1968.



Любителям астрономии — о телескопах. II*

Н. Н. МИХЕЛЬСОН

кандидат физико-математических наук

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ПОМЕХ

Казалось бы, в телескопы с большим увеличением и большими объективами можно увидеть очень мелкие детали на поверхности Луны и планет, разрешить наиболее тесные звездные пары. Например, в 5-метровый телескоп обсерватории Маунт Паломар наблюдатель должен бы разглядеть на Луне детали (камни, трещины и т. п.) размером около 6 м! (Этой величине на расстоянии Луны от Земли соответствует разрешающая сила 5-метрового телескопа.) В действительности же в крупнейший из существующих телескопов-рефлекторов можно рассмотреть на Луне детали размером 1—2 км и только в исключительных случаях — около 200 м. Дело в том, что наземные наблюдения мы проводим со дна

земной атмосферы, существенно искажающей изображения небесных светил.

Неоднородности атмосферы, хаотически перемещающиеся в ней струи и течения воздуха разной температуры и с разным показателем преломления (показатель преломления любой среды зависит от температуры) портят изображения.

Вероятно, каждый замечал, что звезды мерцают и переливаются всеми цветами радуги. Особенно сильно они мерцают вблизи горизонта. Мерцание звезд объясняется тем, что идущие от звезды как от точечного источника лучи света в земной атмосфере неоднократно преломляются на хаотически движущихся неоднородностях*. Планеты не мерцают: лучи света, идущие из раз-

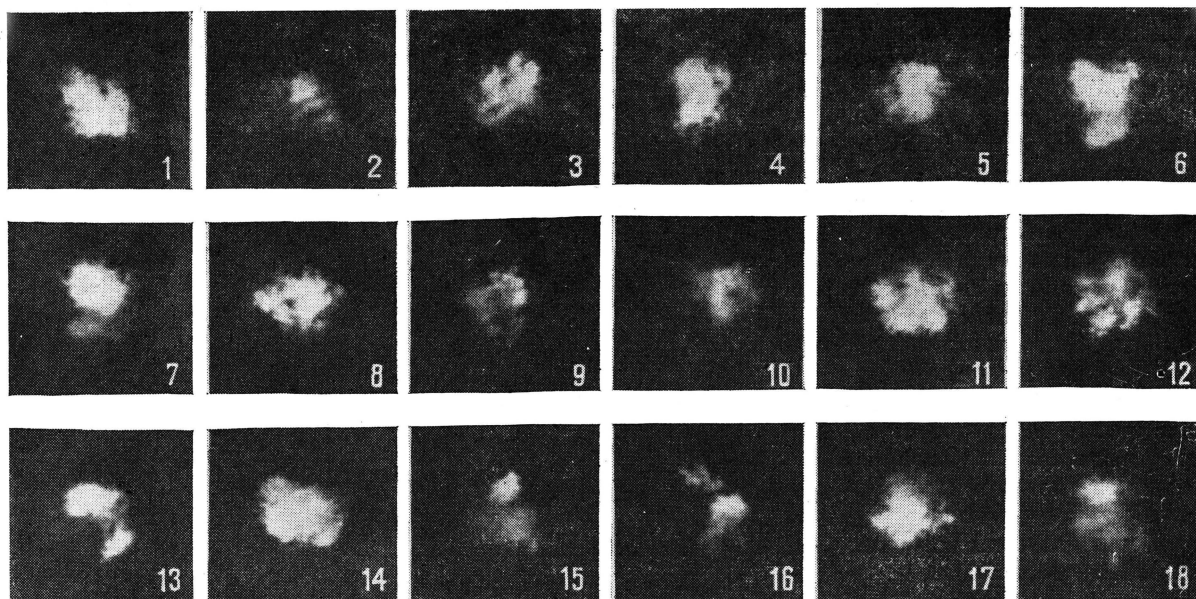
ных точек их диска, проходят в земной атмосфере несколько разные пути, и в результате влияние многих воздушных струй усредняется.

Уже в небольшой телескоп мы не увидим мерцания звезды, потому что лучи, попадающие в разные точки объектива, проходят через земную атмосферу различными путями. Это указывает на то, что размеры неоднородностей в земной атмосфере невелики (иногда они имеют в поперечнике около 10 см). Если бы они были значительно больше, то мерцание звезд было бы заметно в небольшие телескопы, но исчезло бы при наблюдении в крупные инструменты.

При визуальном наблюдении в телескоп с достаточным большим увеличением видно, что изображения всех звезд дрожат и размазываются. Эти явления сильнее сказываются на изображениях тех звезд, которые расположены ближе к горизонту. Однако и в зените изображения звезд из-за турбулент-

* Продолжение. Начало см. «Земля и Вселенная», № 3, 1968 г.

* О турбулентности атмосферы и явлениях, связанных с ней, рассказано в статье В. И. Татарского «Турбулентность атмосферы», «Земля и Вселенная», № 2, 1968 г.



ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ФОТОГРАФИИ ЗВЕЗДЫ α Волопаса, полученные на телевизионном телескопе пулковским астрономом Н. Ф. Купревичем. Экспозиция каждого снимка $1/25$ секунды, интервал между экспозициями также $1/25$ секунды. Масштаб фотографий $10 \text{ мм} = 1'',2$. Звезда на этих фотографиях имеет вид неравномерно освещенного пятна

ности атмосферы не бывает меньше нескольких десятых долей секунды дуги. Это изображение называется диском дрожания или турбулентным диском. Обычно диаметр турбулентного диска около $1''$, что соответствует разрешающей силе телескопа с диаметром объектива 300 мм . То же относится и к деталям Луны и планет. Поэтому большие увеличения, казалось бы позволяющие разглядеть мелкие подробности на диске Луны или планеты, на самом деле ничего не дают.

Турбулентное изображение непрерывно меняется. В отдельные мгновения размер турбулентного диска может сократиться до $0'',2$ или даже до $0'',1$, и тогда изображения станут особенно отчетливыми.

На мгновенных крупномасштабных фотографиях изображение звезды имеет вид неравномерно освещенного пятна, в котором непрерывно перемещаются сгустки света, причем смещается вся звезда. Продолжительные экспозиции усредняют все это, и на снимке получается круглое изображение звезды тем больших размеров, чем ярче звезда и чем более возмущена (турбулентна) атмосфера.

Человеческий глаз может запоминать отдельные детали в моменты, когда изображения улучшаются. Разрешающая способность невооруженного глаза составляет около $60''$. Поэтому, чтобы разглядеть на диске Луны или планеты предельно малую деталь размером $0'',2$ — $0'',1$, необходимо применить

увеличение в 300 — 600 раз. Большие увеличения бессмысленны: никаких новых деталей наблюдатель не увидит, какой бы телескоп он ни использовал.

Известно, что состояние атмосферы зависит от погоды, рельефа, высоты над уровнем моря и других местных условий. При выборе места для строительства новой обсерватории, которая будет оснащена большими телескопами, приходится учитывать не только число ясных ночей в году и распределение их по сезонам. Там, где собираются строить такую обсерваторию, волнения воздуха должны быть минимальны, а изображения звезд наиболее спокойны. Необходимо принимать во внимание и влажность, и силу ветра, и амплитуду суточных коле-

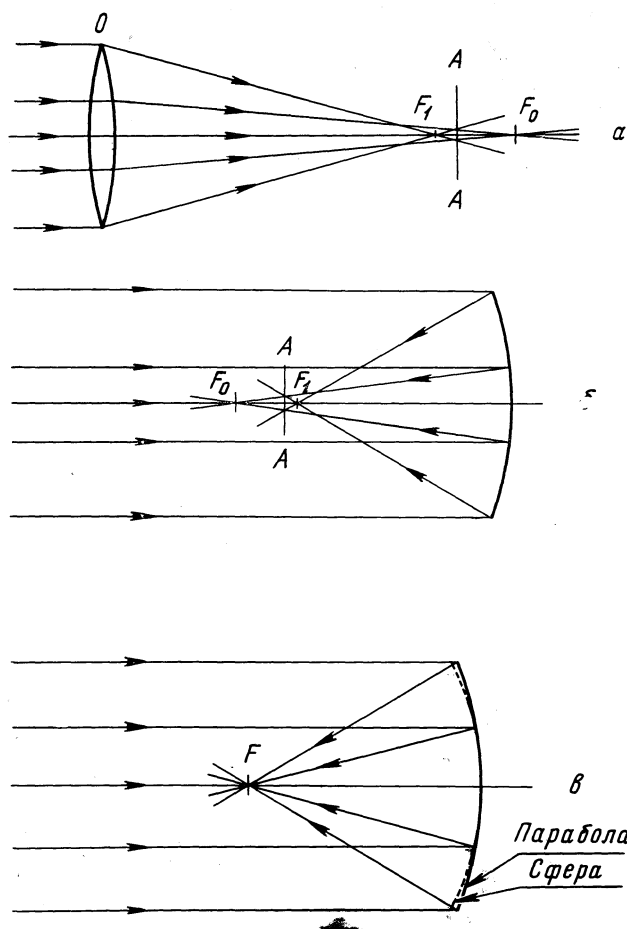
баний температуры, которые могут повлиять на работу телескопа.

Телескоп, его механизмы, купол и астроном-наблюдатель также могут быть источниками помех и причинами порчи изображений. От всех нагретых предметов (в том числе и от наблюдателя) обязательно поднимаются вверх струйки теплого воздуха. Если они попадают в пучок лучей, идущий от звезды в телескоп, то изображение искажается. Особенно вредны теплые потоки, выходящие из-под купола наружу (поэтому зимой астроном вынужден работать на морозе). Чтобы температура воздуха под куполом и вне его была одинаковой, купол открывают задолго до наблюдений.

АБЕРРАЦИИ ОПТИКИ

Объектив телескопа строит в фокальной плоскости изображение участка неба со звездами. Изображение звезды, на которую в данный момент наведен телескоп, будет построено в центре поля зрения — на оптической оси объектива. Изображение любой другой звезды будет находиться вне оптической оси телескопа.

Стремятся рассчитать объектив так, чтобы все параллельные пучки лучей собрались в точке. Однако даже в самом лучшем объективе это условие выполняется лишь приблизительно. Изображение размывается не только на краях поля зрения, но и на оптической оси. Кроме того, нарушается подобие между предметом и его изображением. Эти искажения называются аберрациями объектива.

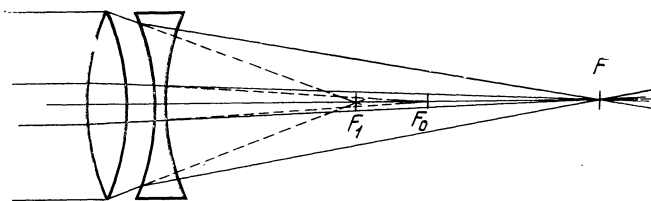


СФЕРИЧЕСКАЯ АБЕРРАЦИЯ. а — сферическая аберрация линзы: лучи света, идущие через центральную зону линзы, собираются в точке F_0 , а от краевых зон линзы — в точке F_1 ; б — сферическая аберрация сферического зеркала: лучи света, отражающиеся от центральной зоны зеркала, собираются в точке F_0 , а от краевой зоны — в точке F_1 ; AA — плоскость наилучшей фокусировки линзы и сферического зеркала; в — параболическое зеркало свободно от сферической аберрации. Все лучи света собираются в точке F

Известны шесть основных аберраций, вызываемых различными причинами и поразному искажающих изображение звезд: сферическая аберрация, кома, астигматизм, кривизна поля, хроматизм, дисторсия.

Сферической аберрацией называется несо-

падение фокусов различных зон объектива. Лучи от края и центра объектива или зеркала сходятся одни ближе, другие дальше. Сферическая аберрация размывает изображение звезды в кружок. Наименьший размер кружка будет в плоскости наилучшей фокусировки.



ИСПРАВЛЕНИЕ СФЕРИЧЕСКОЙ АБЕРРАЦИИ в двухлинзовом объективе. Лучи, которые в однолинзовом объективе сходились в разных точках F_0 и F_1 , сходятся теперь в одной точке F

Сферическая aberrация присуща не только линзам, но и сферическим зеркалам. Вогнутое параболическое зеркало свободно от сферической aberrации: лучи всех зон собираются в одной точке. Вот почему в рефлекторах главное зеркало делают параболическим. Сферическую aberrацию рефрактора можно заметно уменьшить, и тем самым улучшить изображение, если объектив изготовить из двух линз. Лучи, которые в однолинзовом объективе сходились в разных точках, соберутся в двухлинзовом объективе в одной точке. Сферическая aberrация особенно заметна у светосильных объективов (или зеркал).

Для лучей, падающих наклонно к оптической оси, характерна другая aberrация — кома. Она вызывается нарушением симметрии преломленного луча и приводит к появлению светового пятна, вытянутого от центра (положительная кома) или к центру (отрицательная кома). Пятно несколько похоже на комету (отсюда и название aberrации — кома).

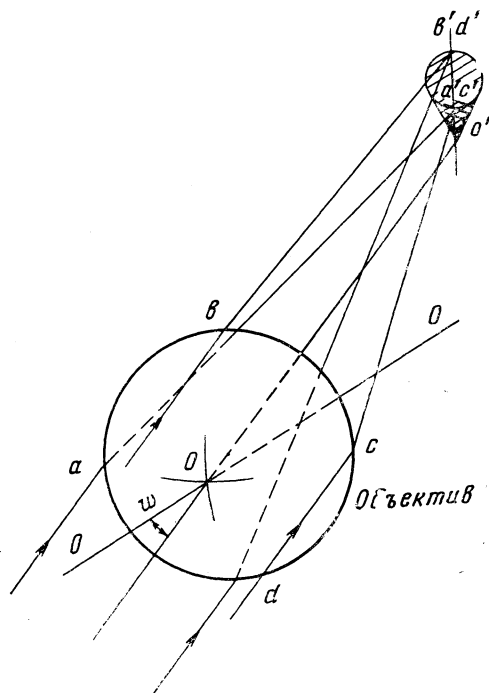
К сожалению, параболическое зеркало, свободное от сферической aberrации, не свободно от комы. Кома портит изображение звезд тем сильнее, чем дальше звезды

расположены от оптической оси телескопа; кома растет особенно быстро в светосильных телескопах. Так, в 5-метровом рефлекторе обсерватории Маунт Паломар (от-

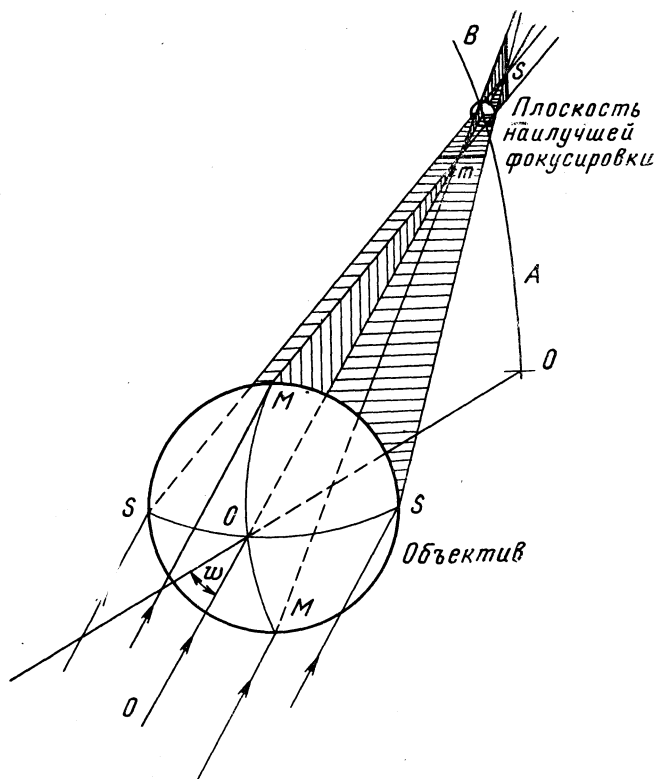
носительное отверстие 1:3,3) кома ограничивает полезное поле зрения углом около $1'$. При этом угловой поперечник пятна комы достигает $0'',7$, а длина $1''$.

Можно рассчитать сложный объектив, в котором будут одновременно исправлены как сферическая aberrация, так и кома. Объектив с исправленной комой называется апланатом.

Для наклонных к оптической оси пучков лучей характерна еще одна aberrация — астигматизм. Изображение точки получается в виде эллипса (или штриха, меняющего направление своей



КАК ВОЗНИКАЕТ КОМА. Если звезда находится от оптической оси телескопа OO на угловом расстоянии ω , то лучи света, проходящие через точки a, b, c, d объектива, собираются соответственно в точках a', b', c', d', o' фокальной плоскости, образуя пятно комы. Распределение света в пятне показано штриховкой



КАК ВОЗНИКАЕТ АСТИГМАТИЗМ. Лучи, идущие в плоскости *МОМ* (меридиональная плоскость), собираются в фокусе *m*, а лучи, идущие в перпендикулярной ей плоскости *SOS* (сагиттальная плоскость), — в фокусе *s*. В фокусе *m* сагиттальные лучи вместо изображения точки дадут горизонтальный штрих, а меридиональные — вертикальный штрих в фокусе *s*. Между *m* и *s* изображения звезд будут эллиптическими, а в плоскости наилучшей фокусировки — в виде кружка. *AB* — поверхность, на которой располагаются лучшие по качеству изображения

ориентации при изменении фокусировки) и превращающегося в кружок в плоскости наилучшей фокусировки. Астигматизм особенно заметен у телескопов, имеющих большое поле зрения. Поэтому на астигматизм приходится обращать особое внимание при расчетах широкоугольных телескопов.

Сродни астигматизму aberrация — кривизна поля, вследствие которой наилучшие изображения звезд для разных углов поля зрения располагаются не на плоскости, а на криволинейной по-

верхности. Эту aberrацию можно устранить, искривляя фотопластинку или фото-

пленку или применяя специальную линзу, которая устанавливается вблизи фокальной плоскости телескопа.

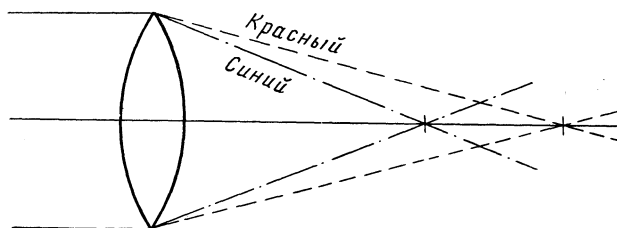
Мы познакомились с aberrациями, которые не зависят от длины волны света, т. е. от цвета лучей. Однако показатель преломления линз для лучей разных длин волн различен: одиночная положительная линза преломляет синие-фиолетовые лучи сильнее, чем желто-красные. В результате фокус для синих лучей находится ближе к линзе, чем для красных. Эта aberrация называется хроматизмом.

В однолинзовом объективе лучи определенной длины волны имеют свой фокус, и для каких-либо лучей (например, синего с длиной волны 4860 Å и красного с длиной волны 6563 Å) расстояние между этими фокусами составит:

$$\Delta f = \frac{1}{64} f,$$

где *f* — фокусное расстояние объектива для средней длины волны зеленых лучей, равной 5550 Å (глаз человека наиболее чувствителен именно к этой длине волны).

Зеркала одинаково отражают лучи всех длин волн, поэтому рефлекторы свободны от хроматизма. Двухлинзовый объектив можно рас-

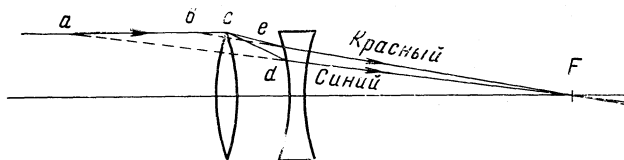


ХРОМАТИЗМ ОДИНОЧНОЙ ЛИНЗЫ: синие лучи преломляются сильнее, чем красные, поэтому фокусы для синих и красных лучей различны

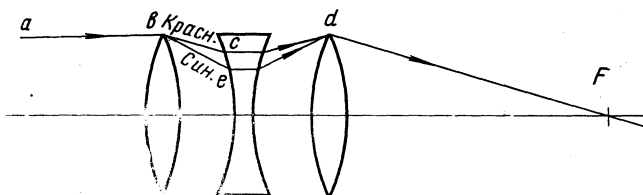
считать так, чтобы в нем были исправлены сферическая aberrация и хроматизм. Эти объективы называются ахроматическими. Линзы для такого объектива необходимо изготавливать из разных сортов стекла: собирающую линзу — из стекла крон, а рассеивающую — из стекла флинт. Правда, хроматизм, как впрочем и сферическая aberrация, исправляются при этом не полностью. Остаточный хроматизм в двухлинзовом ахромате или вторичный спектр удаётся значительно уменьшить, лишь применяя более сложные многолинзовые объективы, которые изготавливают из особых сортов стекла. Такие объективы называются апохроматами.

Неисправленный хроматизм вызывает радужную окраску изображений, меняющуюся при изменении фокусировки окуляра. Это основной недостаток любительских телескопов из очковых стекол. Но изображения планет имеют синюю или голубую каемку даже при наблюдении в хороший рефрактор с двухлинзовым объективом. Это объясняется тем, что в ахромате лучи двух разных цветов хотя и собираются в одну общую точку, но приходят они в нее разными путями. В результате в фокальной плоскости изображение планеты в синих лучах бывает несколько крупнее, чем в красных, — вокруг планеты появляется синий ореол. Этот эффект называется хроматизмом увеличения. Чтобы его устранить, приходится употреблять более сложные трехлинзовые объективы.

Все aberrации (сферическая, кома, астигматизм, хро-



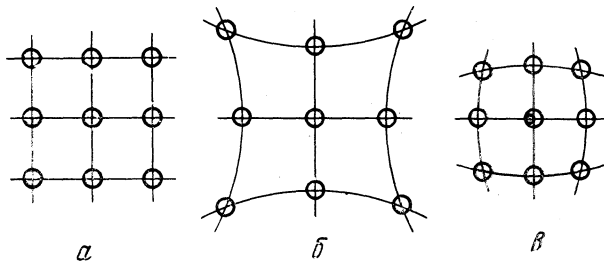
ХРОМАТИЗМ УВЕЛИЧЕНИЯ в двухлинзовом объективе. Лучи света разной длины волны хотя и собираются в одной точке F , но приходят в нее разными путями: синий луч проходит путь $abcdF$, попадая в фокус F как бы из точки a , а красный — путь $abceF$, попадая в фокус F как бы из точки b . В результате изображения имеют синий или голубой ореол



ИСПРАВЛЕНИЕ ХРОМАТИЗМА УВЕЛИЧЕНИЯ в трехлинзовом объективе. Как видно из чертежа, пути световых лучей разной длины волны одинаковы и ореол около изображения не появляется

матизм) портят изображение звезд. При этом хроматическая и сферическая aberrация искажают изображения всех звезд, находящихся в поле зрения телескопа. Кома и астигматизм увеличиваются по мере удаления от центра поля зрения телескопа и

на некотором расстоянии, зависящем от выбранной оптической схемы, ее относительного отверстия и качества расчета, достигают недопустимо большой величины. Таким образом, они ограничивают полезное поле телескопа.



ДИСТОРСИЯ: a — изображение, даваемое объективом, свободным от дисторсии; $б$ — подушкообразная дисторсия; $в$ — бочкообразная дисторсия

Еще один вид аберрации — дисторсия — не искажает изображения звезд, но смещает их, нарушая истинный характер конфигурации.

В зависимости от задачи, для которой предназначается телескоп, должны быть наилучшим образом исправлены те или иные аберрации. Так, в большом телескопе, основное назначение которого астрофизические и спектральные исследования, вполне можно мириться с дисторсией. Но дисторсия очень вредна в астрометрических инструментах, служащих для точного определения положений звезд на небе.

В хорошо рассчитанном объективе (линзовом или зеркальном) аберрации должны быть исправлены настолько, чтобы они заметно не влияли (в пределах заданного поля) на характер изображения звезд.

ОШИБКИ ОПТИКИ

Оптик-вычислитель передает оптикам-практикам и конструкторам рассчитанные формы поверхностей, толщины линз, расстояния между ними и сорта стекол, выбранных им для будущих линз и зеркал. Теперь нужно изготовить необходимые линзы, зеркала и закрепить их в трубе телескопа. Задача эта сложная и может быть выполнена только с какой-то степенью приближения к требованиям расчета.

Линзы изготавливают из оптического стекла высокого качества. Стекло должно иметь показатель преломления, не отличающийся от выбранного вычислителем, быть однородным по всей своей

массе. Недопустимы отдельные отклонения показателя преломления, имеющие характер нитей или волокон (так называемые свили), которые обусловлены, главным образом, плохим перемешиванием вязкой массы стекла во время варки. Вредны также посторонние включения и пузырьки воздуха в стекле, вызывающие рассеяние света в объективе.

В процессе шлифовки и полировки необходимо придать двум поверхностям линзы форму точных сфер, строго заданных радиусов кривизны, выдержать требуемую толщину в центре и равенство толщины по краю (как говорят оптики, правильно центрировать линзу). Чтобы правильно изготовить линзу, нужны не только шлифовальные и полировальные порошки (абразивы) и смолы, оптический станок, навык работы, но также и методы контроля, которые позволили бы оценить степень приближения к расчетным требованиям. О сложности этой задачи можно составить себе представление по тем исключительно жестким требованиям, которые предъявляются к точности изготовления оптических поверхностей. Каждую из четырех поверхностей двухлинзового объектива необходимо обработать с точностью до $0,00007$ мм, а точность полировки поверхности зеркал в системе, содержащей два зеркала, в 2 раза выше! Такие требования предъявляются как к маленьким объективам, так и к объективам гигантских телескопов. Столь высокие требования к точности обработки поверхностей не предъявляет никакая другая отрасль промышленности.

Еще сложнее изготовление оптических деталей с несферическими поверхностями (параболическое зеркало, поверхности коррекционной пластины в камере Шмидта и т. д.).

Инженер-конструктор, проектирующий телескоп, должен так сконструировать трубу телескопа, крепление оптических деталей и светоприемника, чтобы они не меняли своего взаимного расположения при поворотах телескопа и изменениях температуры. Поверхности зеркал и линз также не должны деформироваться под влиянием собственного веса и температурных напряжений. Допуск на деформацию не должен превышать допуска на точность изготовления поверхностей. Если не соблюдать эти требования, телескоп не даст хорошего изображения. Представьте себе главное зеркало 5-метрового телескопа обсерватории Маунт Паломар, которое весит $14,5$ т (на нем могли бы разместиться две легковые автомашины). И такое зеркало всегда должно строго сохранять форму параболоида с точностью до $0,1$ мк! Для этого зеркало подпирают сзади рычажные разгрузочные устройства, каждое из которых снабжено противовесом, воспринимающим соответствующую долю веса зеркала. Из-за суточных колебаний температуры воздуха в толще зеркала возникают градиенты температуры (т. е. различие температуры наружных и внутренних слоев). При этом центральные части зеркала, охлаждаясь в течение ночи, сохраняют более высокую температуру, в то время как края его остывают быстрее и сжи-

маются, что приводит к нарушению правильной формы поверхности. Этот эффект называется завалом края. Чтобы его уменьшить, зеркала стараются делать из особого стекла «пирекс» (коэффициент линейного расширения его в 3—4 раза меньше, чем у стекла) или из плавленого кварца (коэффициент линейного расширения в 15 раз

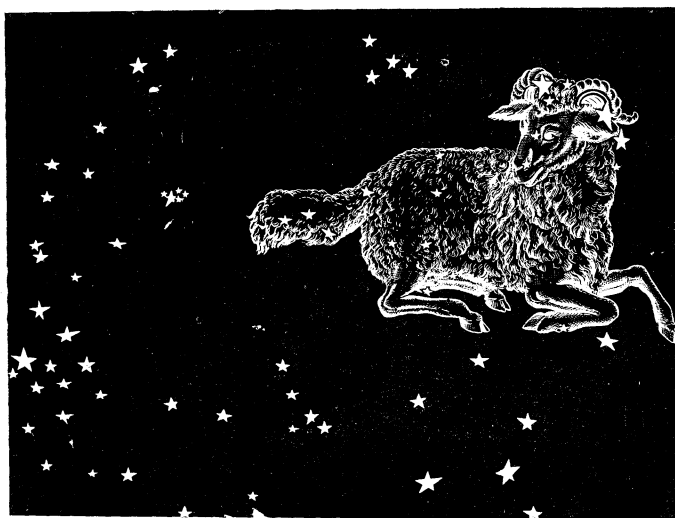
меньше, чем у стекла). Кроме того, зеркала крупных телескопов закрывают днем крышками с теплоизоляцией, а под куполом стремятся сохранить холодную ночную температуру воздуха.

Для получения хороших изображений очень важна тщательная юстировка (регулировка) оптики и стабильность ее во времени. Это за-

висит как от конструкторов и оптиков, так и от астронома, работающего на телескопе. При неизбежных в течение ночи изменениях температуры происходит нарушение правильной фокусировки. Астроном должен время от времени ее проверять и исправлять.

*(Продолжение
в следующем номере)*

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В НОЯБРЕ—ДЕКАБРЕ 1968 ГОДА



21 декабря в 22 часа по московскому времени Солнце приходит в точку зимнего солнцестояния. Начинается астрономическая зима.

ЗВЕЗДНОЕ НЕБО. В ноябре—декабре, низко над горизонтом, в западной части неба еще можно наблюдать осенние созвездия Лиры, Лебедя, Орла. Высоко над головой, около зенита, располагается созвездие Кассиопеи. В северной части неба видна Большая Медведица, а в восточной его части уже можно наблюдать красивейшую группу зимних созвездий Ориона, Тельца, Возничего, Близнецов. К югу от Кассиопеи находятся созвездия Персея, Андромеды, Пегаса, Рыб, Кита, а ниже созвездия Андромеды, почти в меридиане видны созвездия Овна и Треугольника.

Рассмотрим более подробно зодиакальное созвез-

дие Овна (Γ). Солнце бывает в нем в мае месяце. Около 2000 лет назад в созвездии Овна находилась точка весеннего равноденствия. В результате прецессии она переместилась в соседнее созвездие Рыб, но по традиции точку весеннего равноденствия продолжают обозначать знаком созвездия Овна.

«Овен» — старинное русское слово, означающее «баран». На рисунке, помещенном в начале статьи, показано, как в древности астрономы изображали это созвездие.

В созвездии Овна очень мало интересных ярких объектов. Три наиболее яркие звезды созвездия: α (2^m , 2), β (3^m) и γ (4^m).

Среди переменных звезд выделяется R Овна — переменная типа Миры Кита. Координаты звезды: $\alpha = 2^h 13^m, 3$; $\delta = +24^\circ 50'$, а видимая звездная вели-



чина изменяется от 7^м,5 до 13^м,7 с периодом в 187 суток. Ближайший максимум блеска звезды будет 3 декабря.

Двойная звезда γ Овна имеет координаты: $\alpha = 1^{\text{h}}50^{\text{m}}8$; $\delta = +19^{\circ}03'$. Ее двойственность впервые наблюдал в 1664 г. известный физик Роберт Гук. Звезда видна в небольшие астрономические трубы. Оба компонента бело-голубого цвета со звездными величинами 4^m,7 и 4^m,8. Угловое расстояние между ними 8''.

Легко наблюдается в школьные телескопы двойная система 30 Овна, координаты которой: $\alpha = 2^{\text{h}}34^{\text{m}},1$ и $\delta = 24^{\circ}26'$. Видимые звездные величины компонентов $6^{\text{m}},6$ и $7^{\text{m}},3$, а угловое расстояние между ними равно $38''$.

Внегалактические объекты созвездия Овна доступны наблюдению лишь в большие любительские инструменты.

Спиральная галактика NGC 772 ($\alpha = 1^{\text{h}}56^{\text{m}}.6$; $\delta = -18^{\circ}46'$) имеет видимую звездную величину $10^{\text{m}},4$, а угловые размеры $5',0 \times 3',0$. Она видна как слабое пятнышко в трубу с диаметром 50 мм и 20-кратным увеличением.

Видимая звездная величина спиральной галактики NGC 972 ($\alpha = 2^{\text{h}}31^{\text{m}}.3$; $\delta = 29^{\circ}06'$) около 12^{m} , угловые размеры $2',0 \times 1',9$. Галактику можно наблюдать в телескопы с диаметром 150 мм и 80-кратным увеличением.

ВИДИМОСТЬ ПЛАНЕТ. Меркурий можно наблюдать только в первой половине ноября, утром, в юго-восточной части неба. Видимая звездная величина планеты $-0^{\text{m}},6$. В начале месяца она располагается в созвездии Девы, а потом переходит в созвездие Весов.

Венера в начале ноября видна вечером, в юго-восточной части неба. Планета перемещается из созвездия Змееносца в созвездие Стрельца. В декабре она будет находиться уже в созвездии Козерога. Видимая звездная величина планеты $-3^{\text{m}},8$.

Марс в ноябре — декабре виден во второй половине ночи в созвездии Девы. 6 ноября в 11 часов по московскому времени Марс пройдет севернее Юпитера на расстоянии $20'$ от него. Видимая звездная величина планеты около $1^{\text{m}},7$.

Юпитер в начале ноября восходит около 3 часов ночи, а в декабре — около полуночи. Планета

видна в созвездии Девы. Блеск ее усиливается от $-1^{\text{m}},3$ до $-1^{\text{m}},6$.

Сатурн можно наблюдать в созвездии Рыб. Видимая звездная величина его меняется от $0^{\text{m}},4$ в ноябре до $0^{\text{m}},7$ в декабре.

Уран в ноябре виден утром в восточной части неба. В декабре планета восходит около полуночи и ее можно наблюдать в созвездии Девы как звезду $5^{\text{m}},7$.

Нептун виден во второй половине декабря под утро, в юго-восточной части неба. Планета находится в созвездии Весов, и ее звездная величина равна $7^{\text{m}},7$.

МЕТЕОРНЫЕ ПОТОКИ

Название	Дата	Координаты	число метеоронов в час
Леониды	16—18 ноября	$\alpha = 10^{\text{h}}09^{\text{m}}$; $\delta = 22^{\circ},3$	10
Андромедиды (Бизелиды)	15—28 ноября	$\alpha = 1^{\text{h}}48^{\text{m}}$; $\delta = 42^{\circ}$	20
Геминиды	13—14 декабря	$\alpha = 7^{\text{h}}29^{\text{m}}$; $\delta = 32^{\circ},4$	50
Урсиды	22 декабря	$\alpha = 15^{\text{h}}32^{\text{m}}$; $\delta = 83^{\circ}$	15

А. Д. МАРЛЕНСКИЙ *доцент*
В. Ф. ЗАВОЛОННЫЙ

ОБСУЖДЕНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ВОПРОСОВ ПРЕПОДАВАНИЯ АСТРОНОМИИ

17—22 июня 1968 г. в Московском областном педагогическом институте имени Н. К. Крупской состоялась VI межвузовская научно-методическая конференция по преподаванию физики, астрономии и технических дисциплин в средней и высшей школе. На секции астрономии были заслушаны и обсуждены доклады представителей педагогических институтов: С. В. Дроздова (Новгород), Е. А. Корякиной (Свердловск), Н. А. Истощина (Краснодар) и А. Г. Юл-

киной (Новгород). В докладах было отражено решение методических вопросов, направленных на углубление и улучшение преподавания астрономии в высшей и средней школе.

Мировоззренческое значение астрономии в среднем и высшем образовании играет весьма существенную роль, и при современном быстром развитии астрономии вопросы методов преподавания становятся особенно актуальными. Поэтому опыт плодотворной работы, о положительных результатах которой рассказывалось на конференции, следует в дальнейшем всемерно расширять.

О. В. ГОЛУБЕВА
профессор

ВНИМАНИЮ ЛЮБИТЕЛЕЙ АСТРОНОМИИ!

Всесоюзное астрономо-геодезическое общество (ВАГО) может выслать карты звездного неба для наблюдений метеоров.

Карты изготовлены в гномонической проекции и позволяют определить радианты метеорных потоков по нанесенным следам метеоров.

Стоимость комплекта карт (4 листа и сетка для отсчета координат) 1 рубль.

Заявки присылать по адресу: Москва, К-9, аб/я 918, ВАГО.



КОСМИЧЕСКАЯ ФИЛАТЕЛИЯ

Ученые-астрономы на марках мира

В обширной «портретной галерее» почтовых марок должное место отведено ученым-астрономам глубокой древности и нашим современникам.

Две первые в истории почты марки с изображением ученого-астронома вышли в Польше в 1923 г. Марки были выпущены в связи с 450-летием со дня рождения величайшего польского астронома Николая Коперника (1473—1543), обосновавшего в своем гениальном труде «О вращении небесных сфер» гелиоцентрическую систему мира. Почтовые ведомства различных стран посвятили Копернику наибольшее число миниатюрных портретов: Польша (1923, 1951, 1953, 1959, 1961, 1964 гг.); СССР (1955 г.), Франция (1957 г.); КНР (1954 г.); Парагвай (1965 г.).

Древнегреческому ученому, одному из основоположников астрономии — Гиппарху (180—125 гг. до н. э.) посвящена марка, выпущенная в 1965 г. в Греции. Как известно, Гиппарх разработал теорию видимого движения Солнца, создал теорию движения Луны и довольно точно определил расстояние до нее. В июле 134 г. до н. э. он наблюдал появление

новой звезды в созвездии Скорпиона. Это событие отмечается как самое древнейшее достоверное наблюдение новой звезды. Гиппарх впервые открыл прецессию и составил каталог 1022 звезд.

В Китайской Народной Республике в 1955 и 1962 гг. появились марки с изображением знаменитых китайских астрономов: Чжан Хэна (78—139), Чжу Чун-чжи (429—500), Сэн И-Синя (683—727), Чо Шоу-цзиня (1231—1316). Чжан Хэн один из первых правильно объяснил причину смены лунных фаз и лунных затмений. Чжу Чун-чжи определил с высокой точностью продолжительность драконического месяца Луны — 27,21223 суток (современное значение — 27,21222 суток). И-Синь, наблюдая звезды, высказал предположение о наличии у них собственного движения, доказанного много веков спустя Э. Галлеем. Чо Шоу-цзин известен как основатель Чжоугунской обсерватории и создатель нового календаря, согласно которому продолжительность года составляет 365,2425 суток.

К 1000-летию со дня рождения великого ученого своего времени Авиценны (род. в 952 г.), внесшего немалый вклад в астрономию, посвятили свои марки Афга-

нистан (1951 г.), Иран (1954 г.), Польша (1952 г.) и ГДР (1952 г.).

Насирэддин Туси (1201—1274) — основатель Маражинской обсерватории (Южный Азербайджан), где под его руководством был составлен один из первых астрономических каталогов. В каталоге приведена постоянная прецессии, равная $51''/428$. Этому замечательному астроному посвящена серия из трех марок, вышедшая в 1956 г. в Иране.

В 1946 г. в Дании вышла в обращение марка с изображением известного астронома Тихо Браге (1546—1601), наблюдения за Марсом которого дали возможность И. Кеплеру в 1609—1624 гг.

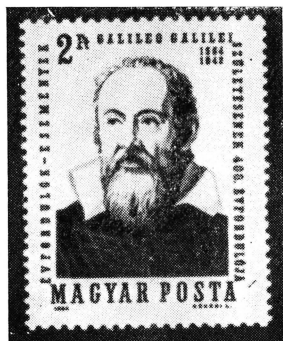




открыть законы движения планет. Своему знаменитому соотечественнику — Иоганну Кеплеру (1571—1630) австрийцы посвятили марку, появившуюся в 1953 г.

15 февраля 1564 г. родился великий итальянский ученый — астроном Галилео Галилей. В 1610 г. он впервые использовал для астрономических наблюдений зрительную трубу, собственноручно изготовленную. Галилею удалось открыть горы на Луне, спутники Юпитера, наблюдать фазы Венеры, звезды, не доступные невооруженному глазу. Всю свою жизнь Галилей защищал гелиоцентрическую систему Коперника, навлекая на себя гнев духовенства. Многие страны мира, отдавая должное гению ученого, выпустили марки с изображением Галилея: Италия (1933, 1942, 1964 гг.), СССР, Венгрия, Румыния, Чехословакия (1964 г.), Панама и Парагвай (1965 г.), Эквадор (1966 г.).

Христиан Гюйгенс (1629—1695) исследовал Сатурн, открыв самый большой спутник этой планеты — Титан. В «Трактате о свете» Гюйгенс впервые изложил волновую теорию света. В честь этого замечательного ученого в Голландии (1928 г.) выпущена почтовая миниатюра.



Датчанин Оле Рёмер (1644—1710) первый доказал, что свет распространяется с конечной скоростью. Им же был создан пассажный инструмент. В 1944 г. Дания выпустила марку с портретом Рёмера.

Значительный вклад в астрономию внес гениальный ученый-энциклопедист Михаил Васильевич Ломоносов (1711—1765). Он обнаружил атмосферу на Венере, создал рефлектор без дополнительного зеркала, заложил основы научной теории происхождения и развития небесных тел. В СССР в память о Ломоносове выпущено 10 марок (1925, 1945, 1949, 1955, 1956 и 1961 гг.), Румыния (1947 и 1961 гг.) также посвятила марки М. В. Ломоносову.

Еще одному выдающемуся русскому ученому Леонарду Эйлеру (1707—1783), члену Петербургской академии наук, математику и астроному-теоретику посвятили в 1957 г. свои марки СССР, ГДР и Швейцария.

Плеяда знаменитых астрономов — Пьер Лаплас (1749—1827), Урбен Леверье (1811—1877), Анри Пуанкаре (1854—1912), которые по праву могут считаться основоположниками теоретической астрономии (небесной механики), — изображена на марках Франции (1952, 1955 и 1958 гг.).

Василий Яковлевич Струве (1793—1864) — основатель и пер-





вый директор Пулковской обсерватории — изображен на советской марке 1964 г. Его портрет можно увидеть также среди портретов знаменитых русских астрономов: Федора Александровича Бредихина (1831—1904) и Аристарха Аполлоновича Белопольского (1854—1934), представленных на советской марке 1954 г., выпущенной в честь открытия Пулковской обсерватории после ее восстановления из руин. Ф. А. Бредихин — создатель кометной астрономии — изображен также на советской марке 1956 г.

Французская почта посвятила марки 1949 и 1956 гг. своим соотечественникам: Франсуа Араго (1786—1853) и Камиллу Флам-

мариону (1842—1925), известным астрономам-популяризаторам.

В СССР в 1965 г. к 100-летию со дня рождения Петра Карловича Штернберга (1865—1920) — знаменитого русского астронома, ученого-коммуниста, активного революционера — выпущена марка с его портретом.

Один из неутомимых исследователей метеоритов — Леонид Алексеевич Кулик (1883—1942) изображен на советской марке 1958 г.

Марки с портретом академика Отто Юльевича Шмидта (1891—1956), разностороннего ученого, автора оригинальной космогонической гипотезы, вышли в СССР в 1935 и 1966 гг.



Многие страны выпустили почтовые марки с портретными миниатюрами И. Ньютона, А. Эйнштейна, Н. Лобачевского, А. Ляпунова, К. Гаусса, Ж. Даламбера, Р. Бошковича и других ученых, немало способствовавших развитию науки о Вселенной.

В. В. ПОЛОНСКИЙ



МИР БЕЗ ЛЕДНИКОВ И ЛЬДОВ

Гидрологи Геологической службы США провели дискуссию по старой проблеме, что произойдет с побережьями и низменностями, если во всем мире растают льды.

Согласно большинству оценок уровень моря должен повыситься на 60—75 м. А это означает (как

заявил картограф Джемс Ли), что такие американские города, как Рочестер, Джексон, Литл-Рок, Колумбия станут морскими портами, будут затоплены штаты Делавэр, Флорида и Луизиана.

Полностью скроются под морскими волнами большие города:

Хьюстон, Корпус-Кристи и Галвестон в Техасе, Нью-Орлеан в Луизиане, Майами и Тампа во Флориде, Джерси-Сити в Нью-Йорке и т. д. Частично затопленными окажутся Бостон, Нью-Йорк, Балтимора, Вашингтон, Монтгомери.

«Polar Times», 28, 64, 1967.

«Карта Луны»*

В 1967 г. Всесоюзное астрономо-геодезическое общество выпустило в свет «Карту Луны» (составитель — И. И. Катяев, автор приложенной к карте брошюры — В. А. Шишаков, редактор — В. А. Бронштэн). Брошюра содержит пояснительный текст к карте и много полезных сведений, включая справочные данные по истории исследования Луны.

Можно только приветствовать появление в брошюре специального раздела «История исследований Луны», так как другие издания, вышедшие на русском языке, содержат лишь отрывочные сведения. Поэтому необходимо особенно внимательно отнестись к анализу именно исторического раздела брошюры, поскольку неточности и ошибки, закрававшиеся в него, читателю будет очень трудно выявить.

Мы намеренно не останавливаемся на том, какие исследования и имена не упомянуты в разделе, понимая, что нельзя подробно изложить на пяти страницах длительную историю изучения Луны. Однако один пропуск незаслуженно обедняет содержание современного этапа в исследованиях Луны: в брошюре ничего не говорится о радиофизических исследованиях верхних слоев Луны, которые проводились в СССР под руководством В. С. Троицкого и по праву получили международное признание.

* Карта Луны. «Наука», 1967 г.

Все другие замечания касаются более ранних этапов изучения Луны. К сожалению, неточности, которые будут отмечены ниже, встречаются и в других работах. Так, в брошюре, да и на страницах многих научно-популярных изданий упорно повторяется утверждение о том, что Галилей определял высоту гор на Луне «по длине отбрасываемых теней» (стр. 9), хотя это не соответствует действительности. Галилей и другие исследователи Луны в течение всего XVII в. определяли высоту лунных гор, измеряя расстояние освещенной вершины от терминатора. Равным образом нельзя согласиться с тем, что Галилей считал темные пятна на Луне морями и был убежден в полном сходстве Луны с Землей (стр. 8). Мнение Галилея о «морях» и «материках» на Луне как нельзя лучше подтверждает проницательность гениального ученого, о которой говорит автор брошюры на той же странице. Вот слова Галилея из «Диалогов о двух системах мира»: «...я считаю материю лунного тела не состоящей из земли и воды». И, наконец, о том, что «телескопические наблюдения Луны с конца 1609 г. стал впервые проводить Галилео Галилей». Когда-то в популярной литературе Галилея называли изобретателем телескопа, хотя он сам указывал, что телескопа не изобретал. Теперь таких утверждений уже не встретишь. На наш взгляд, существующий «хре-



стоматийный глянec» должен быть преодолен и в отношении первых телескопических наблюдений Луны, которые, как известно, проводились и до Галилея, например, Т. Харриотом в Англии.

Из числа мелких неточностей упомянем лишь две. Честь открытия трещин на поверхности Луны (в частности, Гигина) принадлежит не И. Шрётеру, а Х. Гюйгенсу. Карта Ю. Шмидта не была последней картой, составленной на основе визуальных наблюдений. В XX в., например, появилась карта Луны Г. Уилкина, также основанная на визуальных наблюдениях.

Раздел «Поверхность Луны» из-за скромных размеров брошюры не может претендовать на исчерпывающую полноту изложения материала, но в основном раздел правильно ориентирует

начинающего читателя, который с помощью рекомендованных в брошюре книг сможет при желании более глубоко ознакомиться с затронутыми вопросами. Необходимо отметить один весьма существенный промах в этом разделе: в описании лунной поверхности не упоминаются слова «материк», «материковая область», между тем они несут вполне определенный смысл и характеризуют области, которые занимают большую часть поверхности Луны. Кроме этого принципиального замечания, можно сделать и ряд мелких. Ограничимся упоминанием одного из них. На странице 17 так и остается непонятным, какая разрешающая способность фактически достигнута при наблюдениях Луны.

Раздел «Приложения» занимает почти половину брошюры и содержит много полезного материала: списки объектов видимой стороны Луны с их координатами, то же для обратной стороны и краевой зоны, а также указатели имен, присвоенных некоторым образованиям. Мы не будем останавливаться на всех вызывающих сомнение русских транскрипциях лунных наименований, а отметим лишь те, которые явно отличаются от общепринятых. Таковы: Буге — вместо Бугер; братья Анри, хотя кратеры носят имена каждого из братьев — Проспера и Поля. Вызывает удивление латинское наименование Моря Мечты (на странице 59) — *Desiderii*, вместо установленного *Ingenii*.

Указанные выше и некоторые другие недостатки в общем не снижают ценности этой брошюры. Она хорошо и со вкусом иллюстрирована (хотя качество полиграфического исполнения фотографий оставляет желать лучшего).

К сожалению, карта, выпущенная в комплекте с брошюрой, уступает ей в достоинствах. Со-

ставитель карты отошел от принятых специалистами по лунной картографии принципов составления карт Луны на фотографической основе, но не предложил взамен никакого определенного подхода, который способствовал бы выявлению строения лунной поверхности. Карта представляет рельеф Луны в чрезвычайно огрубленном виде, что делает ее схематичной, и, следовательно, избавляет нас от необходимости указывать имеющиеся на ней ошибки в изображении отдельных деталей рельефа. Отметим лишь наиболее существенные недостатки общего характера. Условные обозначения не разъясняют, что представляют собой довольно обширные площади, занятые на карте желтым цветом. Составитель не нашел возможности поместить на карте такие интересные объекты, как лучевые системы кратеров. В обозначении самих кратеров не видно разницы между кратерами диаметром менее и более 100 км; также непонятно, почему совершенно различные по своему ти-

пу, возрасту и внешнему виду кратеры изображаются на карте одинаково. Схематичность карты затрудняет работу с ней любителям астрономии.

Слова «в телескопическом изображении», вынесенные в название карты, относятся лишь к ориентации карты (юг — сверху), хотя уже сейчас сомнительна целесообразность такого расположения стран света на Луне.

Июже, пожалуй, наиболее полезна эта карта Луны тем любителям астрономии, которые впервые знакомятся с расположением различных объектов на лунной поверхности. Руководствуясь прилагаемой брошюрой, можно узнать квадрат на карте, в котором находится объект, и прямоугольные координаты объекта. Эти сведения, а также указание (и на карте, и в брошюре) координат прилунения космических аппаратов являются несомненными достоинствами рецензируемого издания.

Е. К. СТРАУТ
кандидат физико-математических наук

«Астрономия в картинках» *

Теперь, когда вышла в свет эта книжка большого формата (257 × 274 мм) с таким привлекающим ярко-оранжевым Солнцем на обложке, вокруг которого кружатся в хороводе Луна, земной глобус, Большая Медведица, Рак, Весы, Сатурн, Венера, искусственный спутник Земли «Протон», невольно удивляешь-

* Б. Левин, Л. Радлова. Астрономия в картинках. (Рисунки Е. Радловой.) Изд. «Детская литература», 1967 г.



ся, как это мы до сих пор, отвечая нашим дорогим «Почемучкам» на их сто тысяч «почему», обходились без такой книжки! На 36 красочных страницах даны ответы, по крайней мере, на сотню «почему», хотя формально их только 19: Сколько звезд на небе? Что такое созвездия? Почему ковш на небе называют Медведицей? Как найти Полярную звезду? Откуда известно, что Земля — шар? Почему бывает день и ночь? Почему бывает лето и зима? Какие светила называют планетами? Каковы наши соседи — Венера и Марс? Что больше — Солнце или Луна? Далеко ли до Луны?... А до Солнца? Почему Луна на небе выглядит по-разному? Почему на Луне видно лицо? Что увидит космонавт, прилетев на Луну? Почему Солнце ярче звезд? Что такое падающие звезды? По каким путям движутся искусственные спутники Земли и космические ракеты? Как выглядят Земля и небо для космонавтов?

В первую очередь хочется отметить с большой похвалой красочные рисунки Е. Радловой. Из 69 иллюстраций — три фотографии, пять рисунков космических аппаратов, а остальные — рисунки в красках. В сущности они — главное в книге, текст же является как бы пояснением к рисункам. Единственную претензию можно предъявить рисунку на странице 28 за красный цвет лунной поверхности и за «странный» Землю.

На странице 4 дан рисунок, основанный на одном старинном атласе, объясняющий названия и показывающий расположение созвездий. Признаться, я впервые узнал, где находилось созвездие Антиной, так как теперь звезды этого созвездия входят в созвездие Орла. Вряд ли также многие знают, что в северном полушарии было когда-то созвездие Мухи. Теперь звезды этого созвездия относятся к созвездию Овна. В совре-

менном звездном атласе, правда, можно найти созвездие Мухи, но лишь в южном полушарии.

В заключение этой краткой заметки о столь приятной и полезной книжке, изданной тиражом в 300 000 экземпляров, хочу задать вопрос: а не придется ли

нам лет через десять резко расширить подготовку астрономов-специалистов, чтобы суметь принять в университеты тех читателей этой славной книжки, которых она увлечет на путь дальнейших «почему?».

П. Г. КУЛИКОВСКИЙ

МОЖНО ЛИ УЖЕ СЕГОДНЯ ПОБЫВАТЬ НА ЛУНЕ?

Оказывается, на этот риторический вопрос можно ответить утвердительно. Дело в том, что «Луна» и даже «Солнце» находятся в пределах принципиальной досягаемости для любого человека. Вооружившись «Большим атласом мира», нетрудно найти на Земле множество различных «астрономических объектов».

Именем планет, например, названо несколько географических пунктов. Плутон — небольшой городок на севере Румынии; Нептун — острова у побережья Австралии, недалеко от Аделаиды; Сатурн — остров в озере Мичиган; Юпитер — речушка на острове Антикости в заливе Святого Лаврентия (на карте это название фигурирует в английской транскрипции — Джупитер); Марс — высокая гора (2600 м) в Италии и маленький городок в Пенсильвании (США), а залив Венеры расположен недалеко от Мельбурна. Урана и Меркурия на карте земного шара нет. (Правда, в Румынии имеется населенный пункт Меркурия, но это, конечно, совсем не то.) Что касается географических названий Земля, то их наберется, наверное, не менее сотни.

Гордое имя Солнце носит 370-метровая гора на Кольском полуострове. Луной называ-

ются притоки рек Амазонки, Тиссы, Дуэро. Кроме того, есть озеро Луна в болотистой долине реки Параны и поселки Луна в Индии, Непале и Республике Конго (Кингаса).

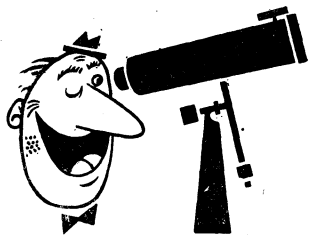
Интересно, что два географических объекта Метеор находятся под водой: это банки в Атлантическом океане. А ручей Метеоритный, наоборот, протекает в районе Сихотэ-Алинского горного хребта.

На карте Земли существуют и геодезические аксесуары. Меридиан — остров в Большом Невольничьем озере. Так же называются несколько американских городков. Более распространено наименование Астролябия — это рифы в Тихом океане, мыс и залив.

Можно найти на географической карте и названия астрономических инструментов. Например, пик Телескоп, высотой 3366 м, находящийся в Калифорнии, к западу от Долины Смерти.

И, наконец, еще одно географическое название, связанное с астрономией, — Острова Астрономического общества, которые расположены в заливе Бутия, в Канадском архипелаге.

И. З.



АСТРОНОМЫ УЛЫБАЮТСЯ

Мы, конечно, понимаем, что это уже не смешно (третья по счету заметка о Маленьком астрономе!), и, как следует из названия этой заметки, решили прекратить публикацию даже самых остроумных рассказов на эту тему. Разумеется, мы не думаем, что из-за этого прекратится поток материалов для нашей рубрики «Астрономы улыбаются»...

Последний раз о Маленьком астрономе

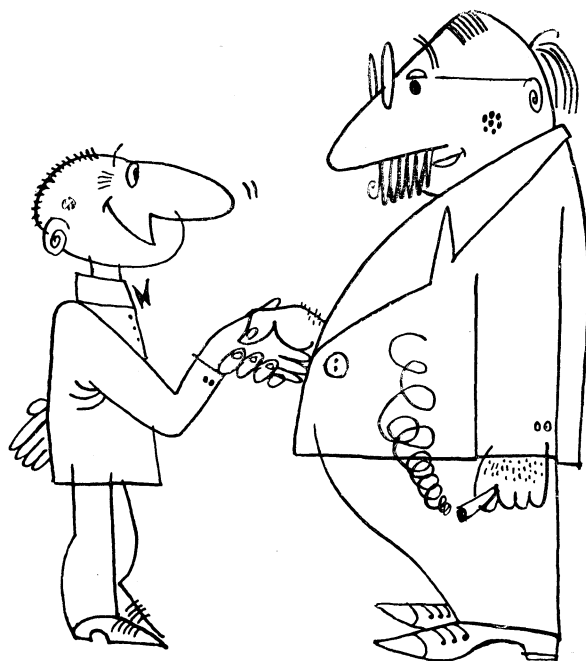
М. КИРШ

Жили-были на горе Маунт А три астронома: Большой астроном, который был одаренным теоретиком, Средний астроном — весьма обаятельный человек и... скромный, прилежный Маленький астроном. Об этом-то Маленьком астрономе и сказывается сказка.

На другой горе, которую называли Маунт Б, жили и трудились также три астронома. И у них царил та же иерархия, что и на горе Маунт А (ее ведь можно найти всюду!). Тамашний Большой астроном был очень предприимчивым и ловким в делах светским человеком, Средний астроном был очень любезен, приятен и музыкален. Маленький же астроном из обсерватории Маунт Б чувствовал себя там несколько одиноко, так как был предоставлен самому себе; поэтому он в один прекрасный день принял предложение работать Средним астрономом на маленькой обсерватории. Как раз в это же самое время случилось так, что Маленький астроном с горы Маунт А посетил обсерваторию Маунт Б. С ним случайно встретился Большой астроном обсерватории Маунт Б. Это действительно было чистой случайностью,

ибо Большой астроном очень-очень редко бывал на обсерватории, где директорствовал многие годы. Заместителем директора давным-давно назначили Средне-

го астронома, но это было так давно, что тот уже не помнил, что он всего лишь заместитель Большого астронома. Здесь как-то начали было подумывать о пригла-



шении из столицы нового «Большого астронома», но так и не смогли на это решиться, и сегодня все потихоньку радовались в душе, что не поспешили тогда. Да и к чему бы затрагивать столь сложные вопросы, ведь все шло своим ходом!

— Как прекрасно, что я встретил вас, дорогой коллега, — сказал Большой астроном из обсерватории Маунт Б Маленькому астроному с горы Маунт А. (Большой астроном становился весьма веселым и общительным, когда встречался с маленькими астрономами.) — Как хорошо, что я вижу вас! У нас здесь освободилась ставка, и мы ищем нового очень прилежного сотрудника. Не хотите ли вы поступить к нам?

— Как?! — только и мог произнести Маленький астроном с горы Маунт А, когда немного пришел в себя от неожиданности. — Как, разве у вас нет молодых коллег, которые уже долго ожидают повышения, чтобы стать старшими научными сотрудниками?

— Что вы, — возразил с улыбкой Большой астроном, — мы не можем беспокоиться еще и о подготовке кадров. У нас ведутся научные исследования и планируется создание новых больших инструментов и наблюдательных станций. Мы приглашаем лучших людей со стороны, из маленьких обсерваторий*, где занимаются обучением специалистов, так как там очень мало возможностей для научной работы.

* Здесь речь идет, конечно, об университетских обсерваториях. (Прим. переводчика.)

— Но почему же астрономы из других обсерваторий идут к вам? Что особенного даете им вы? — пожелал узнать Маленький астроном с горы Маунт А.

В ответ на столь наивный вопрос Большой астроном с горы Маунт Б поджал губы и, заметно охладев, произнес:

— Они могут наблюдать на моей новой обсерватории в Большой телескоп, сконструированный и построенный мною.

И тогда Маленький астроном сказал:

— Еще со времени моей учебы и особенно после того, как я начал более десяти лет назад свою программу наблюдений, я с интересом слежу за вашими планами. Как я слышал, а может быть даже читал в каком-то астрономическом журнале, сейчас комиссии А и Б и комитет X согласились принять ваше предложение о постройке новой обсерватории в стране С. Окупится ли такое большое расстояние? Но, конечно, у них там наилучшие условия для наблюдений, какие только можно представить на Земле. По моей оценке, там 366 ясных ночей! Разумеется, только в високосные годы!

Большой астроном мог вынести все, но только не отсутствие почтения со стороны маленьких астрономов. Он резко повернулся на каблучках и оставил Маленького астронома, который даже не знал, смеяться ему или плакать. Когда перед его внутренним взором предстало все: положение астрономии в его стране и в других странах, планирование и бесконечное обсуждение в течение долгих лет новых инструментов, непре-

рывные разглагольствования о «ценной» инициативе отдельных астрономов (разве так не болтали там и сям о Большом астрономе из обсерватории Маунт Б?), упущенные возможности, потерянное время, затраченные впустую деньги, — ему действительно стало не до смеха.

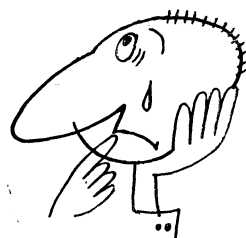
Ведь он был всего лишь Маленький астроном; быть может, ему не хватало кругозора, так как он хотел только работать, хотел наблюдать. Но где найти те скромные инструменты, которыми с давних пор располагали его коллеги в соседних странах, где найти тот Большой телескоп, о котором астрономы его страны мечтали десятилетиями?

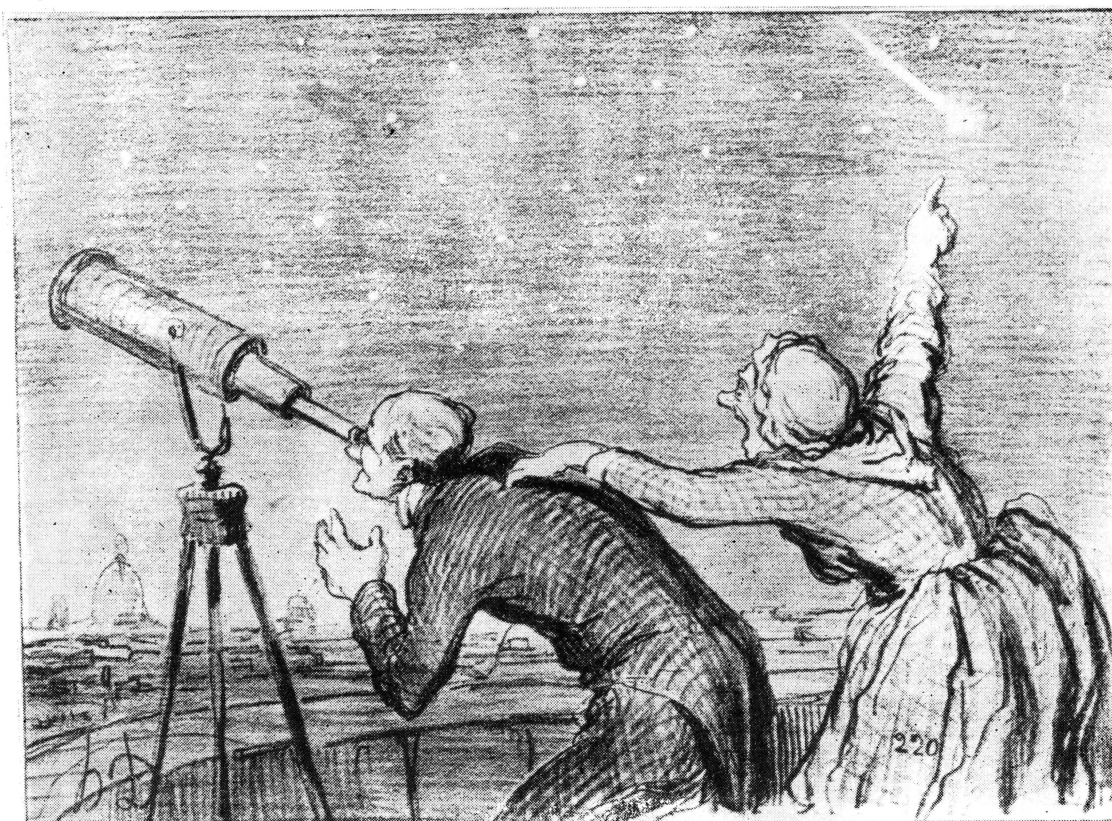
Он уже вступил в «зрелый» возраст, в лучшую творческую пору своей жизни. Когда он попытался оценить, сколько же времени пройдет, пока он сможет работать на очень большом телескопе, то подумал, покоряясь судьбе, что это может произойти за два—три года до выхода на пенсию, а если повезет, то года на два раньше.

(«Sterne und Weltraum», 5, 4, 1966)

Перевод с немецкого
В. К. АБАЛАКИНА

Рисунки
Ю. М. АРАТОВСКОГО





Любителям живописи:

Кто автор этого произведения?

Любителям астрономии:

Какую подпись Вы предложили бы сделать под этим рисунком?

Фамилии читателей, правильно ответивших на первый вопрос и наиболее остроумно — на второй, будут опубликованы в одном из следующих номеров «Земли и Вселенной».

Орган секции физико-технических и математических наук Президиума Академии наук СССР
и Всесоюзного астрономо-геодезического общества

Научно-популярный журнал
«ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ»

Редакционная коллегия:

Главный редактор доктор физ.-мат. наук Д. Я. МАРТЫНОВ
Зам. главного редактора доктор физ.-мат. наук И. А. ХВОСТИКОВ
Ответственный секретарь кандидат пед. наук Е. П. ЛЕВИТАН

Кандидат физ.-мат. наук В. А. БРОНШТЭН, доктор техн. наук
А. А. ИЗOTOV, кандидат физ.-мат. наук И. К. КОВАЛЬ, кандидат
физ.-мат. наук М. Г. КРОШКИН, доктор физ.-мат. наук Р. В. КУНИЦ-
КИЙ, доктор физ.-мат. наук Б. Ю. ЛЕВИН, кандидат физ.-мат. наук
Г. А. ЛЕЙКИН, академик А. А. МИХАЙЛОВ, кандидат физ.-мат. наук
И. Д. НОВИКОВ, доктор физ.-мат. наук К. Ф. ОГОРОДНИКОВ, док-
тор геол.-мин. наук Б. А. ПЕТРУШЕВСКИЙ, доктор физ.-мат. наук
В. В. РАДЗИЕВСКИЙ, доктор физ.-мат. наук Ю. А. РЯБОВ, доктор
техн. наук К. П. ФЕОКТИСТОВ, академик В. Г. ФЕСЕНКОВ.



Адрес редакции: Моск-
ва, В-333, Ленинский пр.,
61/1. Тел. 135-64-81,
135-63-08

Художественный редактор
Л. Я. Шимкина

Корректоры: А. М. Балунова,
Г. Н. Нелидова